

INSTITUTO FEDERAL
Sul de Minas Gerais

eISSN 2316-1817

Indexada em

AGRIS
SUMÁRIOS.ORG
LATINDEX
REDIB
DOAJ
GOOGLE ACADÊMICO

Afiliada à Associação Brasileira de Editores Científicos (ABEC)

Revista

AGROGEOAMBIENTAL

Publicação Trimestral Científica e Tecnológica - IFSULDEMINAS

v.11 – n.2 – junho / 2019



Ministério da Educação
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais

Presidente da República
Jair Messias Bolsonaro

Ministro da Educação
Abraham Weintraub

Secretário de Educação Profissional e Tecnológica
Ariosto Antunes Culau

Reitor do IFSULDEMINAS
Marcelo Bregagnoli

Pró-Reitor de Administração e Planejamento
Honório José de Moraes Neto

Pró-Reitor de Gestão de Pessoas
Luiz Ricardo de Moura Gissoni

Pró-Reitora de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação
Sindynara Ferreira

Pró-Reitor de Ensino
Giovane José da Silva

Pró-Reitor de Extensão
Cléber Ávila Barbosa

Ficha Catalográfica

R454 Revista Agrogeoambiental / Instituto Federal do Sul de Minas Gerais (IFSULDEMINAS). Vol. 11, n.2 (jun. 2019) -. - Pouso Alegre (MG) : IFSULDEMINAS, 2019 - .

Trimestral.
Endereço eletrônico < <https://agrogeoambiental.ifsuldeminas.edu.br/> >

e-ISSN 2316-1817 versão eletrônica.

1. Meio ambiente. 2. Agrárias. 3. Agronomia. 4. Engenharia agrícola. 5. Geomática. 6. Geologia. 7. Silvicultura. 8. Zootecnia. 9. Ecologia. I. Instituto Federal do Sul de Minas.

Revista

AGROGEOAMBIENTAL

e-ISSN 2316-1817 – Indexação: AGRIS – DOAJ – REDIB – Latindex – Sumários – Google Acadêmico

Expediente

Editor-chefe

Miguel Angel Isaac Toledo del Pino

Bibliotecária

Rosimeire Ribeiro

Assistentes editoriais

Kélica Andréa Campos de Souza
Alan Silva Fialho

Estagiária

Giovanna Bruno de Oliveira

Comissão editorial

Cristiane Fortes Gris
Jane Piton Serra Sanches
Wellington Marota Barbosa

Revisão

Monalisa Aparecida Pereira

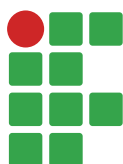
Diagramação

M&W Comunicação Integrada

Comissão editorial

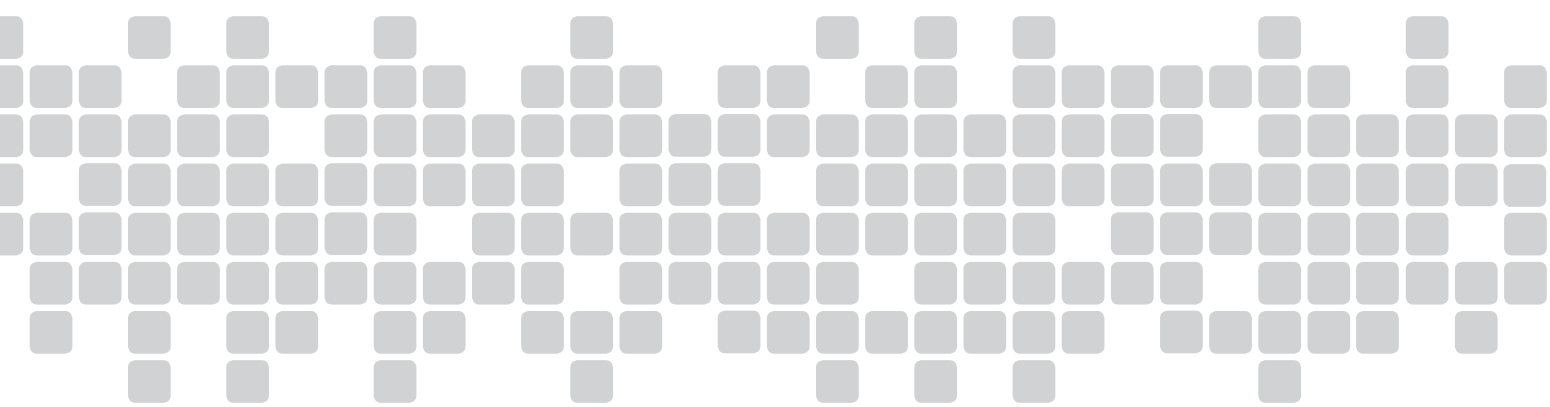
Abdon Santos Nogueira	IFBAIANO	Brígida Monteiro Vilas Boas	IFSULDEMINAS
Ademir Fontana	EMBRAPA	Bruno Corrêa Barbosa	UFJF
Aderlan Gomes da Silva	IFMG	Caio de Teves Inácio	EMBRAPA
Alan Silva Fialho	IFSULDEMINAS	Carlos Andres Leguizamón Rojas	UNA - Paraguai
Alessandro Salles Carvalho	UFJF	Carlos Cezar da Silva	IFSULDEMINAS
Ana Cristina Ferreira Moreira da Silva	IFSULDEMINAS	Carlos Edward de Carvalho Freitas	UFAM
Ana Paula Dias Turetta	EMBRAPA	Carolina Mariane Moreira	IFSULDEMINAS
Anderson Ricardo Trevizam	UFLA	Claudino Ortigara	IFSULDEMINAS
André Delly Veiga	IFSULDEMINAS	Cleber Kouri de Souza	IFSULDEMINAS
André Luis da Silva Castro	IFG	Cleber Lázaro Rodas	UFLA
Anita Cristina Costa da Silva	IFSUDESTE - MG	Cleiton Lourenço de Oliveira	IFSULDEMINAS
Antônio Sérgio da Costa	IFSULDEMINAS	Cristiane Fortes Gris Baldan	IFSULDEMINAS
Arcângelo Loss	UFSC	Daniel Fernandes da Silva	UFLA
Ariana Vieira Silva	IFSULDEMINAS	Danielle Martins Duarte Costa	IFSULDEMINAS / UNIFEI
Arinaldo Sá Júnior	IFSULDEMINAS	Diego César Terra de Andrade	IFSULDEMINAS
Aureliano de Albuquerque Ribeiro	UFC	Diego Maia Zacardi	UFOPA
Aurélio Ferreira Borges	IFRO		

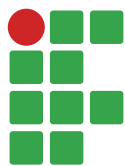
Dulcimara Carvalho Nannetti	IFSULDEMINAS	Lilian Karla de Oliveira	UNIFRAN
Éder Clementino dos Santos	IFSULDEMINAS	Lilian Vilela Andrade Pinto	IFSULDEMINAS
Edu Max da Silva	IFSULDEMINAS	Luciana Faria	IFSULDEMINAS
Eduardo Ferreira Molina	UNIFRAN	Luciana Maria Vieira Lopes Mendonça	IFSULDEMINAS
Eliana Fortes Gris	UnB	Luiz Eugenio Veneziani Pasin	UNIFEI
Elisa de Souza Junqueira Rezende	UNICAMP	Marcelo Bregagnoli	IFSULDEMINAS
Eugênio José Gonçalves	IFSULDEMINAS	Marcos Caldeira Ribeiro	IFSUDESTE - MG
Everton Vinicius Zambiazzi	UFLA	Marcos Magalhães de Souza	IFSULDEMINAS
Fábio Janoni Carvalho	IFTM	Marcos Valério Gebra da Silva	FAJ
Fábio Mesquita de Souza	IFMA	Mário de Oliveira Rebouças Neto	IFPI
Fábio Oseias dos Reis Silva	UFLA	Mireile Reis Santos	IFSULDEMINAS
Fabricio Gomes Gonçalves	UFES	Michael Silveira Thebaldi	UNIFOR
Felipe Santana Machado	UFLA	Miguel Angel Isaac Toledo del Pino	IFSULDEMINAS
Flávia Monteiro Coelho Ferreira	IFSUDESTE - MG	Nara Cristina de Lima Silva	IFTM
Franciane Diniz Cogo	UFLA	Narayana de Deus Nogueira	IFSULDEMINAS
Francisco César Gonçalves	IFSUDESTE - MG	Patrícia de Oliveira Alvim Veiga	IFSULDEMINAS
Givago Coutinho	UNICERRADO	Paulo Oswaldo Garcia	IFSULDEMINAS
Guilherme Oberlender	IFSULDEMINAS	Pedro Luiz Terra Lima	LANCASTER UNIVERSITY - UK
Hugo Renan Bolzani	IFSULDEMINAS	Rafael Nogueira Scoriza	UFRRJ
Igor Souza Pereira	IFTM	Raphael Antônio Prado Dias	IFSULDEMINAS
Inêz Pereira da Silva	EPAMIG	Raphael Maia Aveiro Cessa	IFMT
Iran Dias Borges	UFSJ	Raphael Nogueira Rezende	IFSULDEMINAS
Isabel Ribeiro do Valle Teixeira	IFSULDEMINAS	Raul Henrique Sartori	IFSULDEMINAS
Ivelize Cunha Tannure Nascimento	IFSULDEMINAS	Renata Brito	UFRRJ
Jader Ribeiro Pinto	IFSul	Renata Mara de Souza	IFSULDEMINAS
Jamil de Morais Pereira	IFSULDEMINAS	Roger Nabeyama Michels	UTFPR
Jane Piton Serra Sanches	IFSULDEMINAS	Rosa Toyoko Shiraishi Frighetto	EMBRAPA
João Antônio Granja	UFLA	Rosângela F. de Paula Vitor Marques	UFLA
João Batista Tavares Júnior	IFG	Rosival Barros de Andrade Lima	UFRPE
João Célio de Araújo	IFC	Sanderley Simões da Cruz	IFPA
João Mateus de Amorim	IFTM	Saul Jorge Pinto de Carvalho	IFSULDEMINAS
João Olympio de Araújo Neto	IFSULDEMINAS	Silvio Henrique Delleposte Andolfato	UTFPR
João Vieira Monteiro	FATEC	Sindynara Ferreira	IFSULDEMINAS
José Antonio Dias Garcia	IFSULDEMINAS	Tatiana de Oliveira Ramos	UNESP
José Luiz de Andrade Rezende Pereira	IFSULDEMINAS	Vanessa Leite Rezende	UFMG
José Mauro Costa Monteiro	IFSULDEMINAS	Tatiane Tagliatti Maciel	UFJF
Joice Fernanda Lübke Bonow	UFPelotas	Vanessa Martins	UFPI
Juan Jose Bonnin Acosta	UNA - Paraguai	Verônica Soares de Paula Morais	IFSULDEMINAS
Käthery Brennecke	UNICASTELO/USP	Walbert Júnior Reis dos Santos	IFSULDEMINAS
Kátia Regina de Carvalho Balieiro	IFSULDEMINAS	Walnir Gomes Ferreira Júnior	IFSULDEMINAS
Leandro Campos Pinto	UFLA	Wellington Marota Barbosa	IFSULDEMINAS
Leonardo Rubim Reis	IFSULDEMINAS		



Summary

Production aspects of soybean cultivars in Machado region, south of Minas Gerais, Brazil	7
Pedro Antonio Pires Lins da Silva, Roberto de Farias Filho	
Fitting of decomposition of sewage sludge and oat straw by nonlinear models	18
Edilson Marcelino Silva, Sílvio de Castro Silveira, Thais Destefani Ribeiro Furtado, Joel Augusto Muniz	
Management of urban solid waste in municipalities monitored by the 17th Cia PM Ind MAT	29
Maximiliano Silva Soares, Luiz Flávio Reis Fernandes	
NPK Fertilization at Planting for <i>Physalis</i> (<i>Physalis peruviana</i> L.)	42
César Ferreira Santos, Geann Costa Dias, Sheila Isabel do Carmo Pinto, Paulino da Cunha Leite, Konrad Passos e Silva	
Activity patterns of mammals at Quedas do Rio Bonito Ecological Park, Lavras City, Minas Gerais State, Brazil	55
Ellen Cristina Mões Oliveira, Felipe Santana Machado, Antônio Carlos da Silva Zanzini	
Description of the carbon mineralization of swine manure and oat straw in the soil through nonlinear models	71
Edilson Marcelino Silva, Thais Destefani Ribeiro Furtado, Jaqueline Gonçalves Fernandes, Joel Augusto Muniz	
Toxicological and anatomical study of vegetative organs of <i>Anthurium maricense</i> Nadrus and Mayo (Araceae)	87
André Luis de Alcantara Guimarães, Patrique Riepe do Tanque, Alexandre dos Santos Pyrrho, Ana Cláudia de Macêdo Vieira	
Crude protein content in <i>Urochloa</i> cultivars (Syn. Brachiaria) in exclusive pasture system or consorciated with <i>Macrotyloma axillare</i> cv. Guatá	107
Thiago Rossi Simões, Käthery Brennecke, Liandra Maria Abaker Bertipaglia, Luciana Gerdes	
Organic compost and irrigation on weight and protein content of <i>Pereskia aculeata</i> leaves	114
Reginaldo Rodrigues de Andrade, João Antônio Galbiatti, Carla Regina Amorim dos Anjos Queiroz, Luiz Carlos Pavani	
<i>In vitro</i> addition of DHA and IGF-I increases the progressive motility of cryopreserved stallion semen	127
Daiane Moreira Silva, Shauna Ann Holden, José Camisão de Souza, Sean Fair	





Production aspects of soybean cultivars in Machado region, south of Minas Gerais, Brazil

Pedro Antonio Pires Lins da Silva¹

Roberto de Farias Filho²

Abstract

Due to its productive potential and importance in human and animal nutrition, soybeans occupy a prominent position in Brazilian economy. Its cultivation in the south of Minas Gerais has been increasing compared to other crops; however, availability of adapted cultivars still low. Therefore, the present research was developed with the aim of evaluating different soybean cultivars productive aspects in Machado region, Minas Gerais, in order to identify cultivars that can be recommended for cultivation in this region. The experimental design consisted of randomized complete block design with four replications and six soybean cultivar treatments (5D6215 IPRO, 5D634 RR, NS 7709 IPRO, NS 7300 IPRO, NS 7667 IPRO and NS 7200 RR). Seeding was conducted in the second week of November/2015. It was verified that Machado region was suitable for soybean cultivation, since all cultivars presented plant height and the first legume height of insertion was favorable to mechanized harvest. Cultivars 5D634 RR, NS 7200 RR and NS 7709 IPRO obtained the best grain yield results with 3.676,62, 3.612,45 and 3.377,90 kg ha⁻¹, respectively. Cultivars 5D6215 IPRO, 5D634 RR, NS 7709 IPRO and NS 7200 RR are within the acceptable levels of lodging for mechanized harvesting. On the other hand, cultivars 5D6215 IPRO and NS 7200 RR demonstrate an emergency speed higher than the other studied cultivars.

Keywords: *Glycine max* (L.) Merrill. Grains Yield. Adaptability.

Introduction

Brazil is the second largest soybean producer in the world. The crop is present in more than 50% of the country cultivation area. Its cultivation began in the southern region of Brazil, more precisely in Rio Grande do Sul; since then, national and international demand for it has been expanding. Official data reveal the 2013/2014 production harvest was estimated at 86.8 million tons of soybeans (Food and Agriculture Organization of the United Nations statistics division - FAOSAT, 2014), while the estimate for 2016/2017 crop indicates a 103 million tons of grain production (United States Department of Agriculture-USDA, 2016).

Increase in production areas and high productivity rates are due to the growing demand for the grain, once it meets several economic needs, such as vegetable oil production, protein based feed, animal production and it works as a source for biofuels. Soy plantation is expected to be a profitable activity in the coming years in Brazil, based on its importance and high future demand; among the

¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais, *Campus* Machado, graduando em Agronomia. ppireslins@gmail.com. Rua Alemanha nº 400, Bairro Jardim Bizarro, Jundiá, São Paulo, CEP 13207-500.

² Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais - *Campus* Machado, graduando em Agronomia. robertofarias.agro@hotmail.com.

main grain producers, the United States of America, Argentina and Brazil will not have the capacity to increase their planted area, since they have the need to produce other crops and livestock activities that prevent them from expanding the soybean area (SEDIYAMA et al., 2015). Among the expanding areas, the state of Minas Gerais stands out in the southeast region.

According to National supply company-CONAB's historical series (2016), the state of Minas Gerais, which is the main producer in the Southeast region, increased its soybean production by 64% and 47 % in the last 20 years. The soybean has been expanding in areas previously cultivated with maize, due to the cultivar use which is increasingly precocious, maintaining soybeans in the first crop and maize in the second, in the same year.

One of the reasons that explain the increase of soybean production in the state of Minas Gerais is the advance of genetic modified plants. In Brazil, more than 1.000 registered soybean cultivars between conventional and transgenic can be found, adapted to traditional and new agricultural frontiers (SEDIYAMA, 2015). Several factors can distinguish one cultivar from the other, highlighting cycle, plant height, leaf shape, growth habit and oil content.

Regarding the cycle, very early cycle cultivars are generally less productive due to the shorter vegetative and reproductive development period in the field. However, precocity has the advantage of enabling a second crop in the same area. Late cultivars, when sown at the appropriate time, can form more leaves and develop slowly, resulting in higher productivity (SEDIYAMA, 2015).

According to Brazilian Agricultural Research Corporation-EMBRAPA (2010), in a group of cultivars with the same cycle length, those with a longer juvenile period bloomed later; therefore, they show a longer period of growth before they bloom, exhibiting higher plants. For cultivars of indeterminate growth type, what defines the plants high size is that they continue to grow in height for a few weeks after blooming, and they can even double their height in that period.

Genetic improvement programs always aim to select plants with resistance to lodging, but the growing environment has a significant influence on this characteristic. Thus, it must be worked with a suitable population for each cultivar, as well as the indicated location and sowing time to obtain high productivity under low lodging intensity (SEDIYAMA, 2015).

In the southern of Minas Gerais, Rezende and Carvalho (2007), studying the behavior of 45 cultivars, found satisfactory yields, highlighting Vencedora, Paiaguás, Aventis 2056-7, Monarch and FT 2000, which presented production above 3.400 kg ha⁻¹.

Furthermore, Carvalho et al. (2010), studying the behavior of 24 cultivars in two locations, Lavras-MG and Itutinga-MG, during two consecutive years, found cultivars such as Monsoy 8001, Conquista, Vencedora, DM Nobre, Emgopa 315, DM Vitória, M-soy 6101, Preta, UFV 16, Emgopa 316, Santa Rosa, Aventis 7002 and CAC 1 had yields varying from 2.958 to 3.575 kg ha⁻¹ for the city of Itutinga (MG), while in Lavras they emphasized the cultivars UFV 16 and M-soy 6101 with yields of 3.553 and 3.543 kg ha⁻¹, respectively.

Batista et al. (2015) observed the behavior of 22 cultivars in Inconfidentes region, south of Minas Gerais, where the cultivars CD 2737 and TMG 1179 RR were superior and with productivity average of 2.400 kg ha⁻¹ and 2.830 kg ha⁻¹, respectively.

Research is needed to relate genotype with the environment for the adaptation of a cultivar to a given region, resulting in materials that present satisfactory production and harvesting characteristics. The objective of this research was to evaluate the productive aspects of different soybean cultivars in Machado, Minas Gerais, in order to identify cultivars that can be recommended in the region cultivation.

Material and methods

The present research was conducted in the experimental area at Instituto Federal do Sul de Minas Gerais, *Campus Machado*, coordinates 21° 69' 21" S, 45° 89' 94" W at 862 m altitude, from November 2015 to March 2016. According to Köppen's classification, climate is Cwa, evidencing mild temperatures, with hot and humid summer. The soil was classified as Red Latosol (EMBRAPA, 2006).

The experimental area was cultivated with maize for grain production in the previous harvest, being prepared with a plowing and two harrowing before the experiment sowing.

Seeding was made in a conventional manner on November 13, by hand, based on a population of 340.000 plants per hectare, for all treatments. When sowing, inoculation with ATMO® commercial product was carried out; it was composed of *Bradyrhizobium japonicum* strain in a dosage of 100 mL of commercial product for each 50 kg of seed, in order to favor the biological nitrogen fixation. After 10 days in emergency, slabs were conducted, respecting the expected plant stand.

According to the soil analysis, the base fertilization was 200 kg ha⁻¹ of Monoammonium phosphate (MAP) from the 10-50-00 formula, applied in the planting groove, and the cover fertilization was performed with Potassium Chloride at dosage of 150 kg ha⁻¹ right after sowing, following Ribeiro et al. (1999) recommendations.

Weed control was made chemically, using the following active ingredients: Fluazifop-p-butyl (187 g ha⁻¹) and Fomesafen (250 g ha⁻¹) applied approximately fifteen days after emergency and Glyphosate (1,440 g ha⁻¹) when conducting desiccation before harvesting, the two applications were performed with a 0,5 % vegetable oil blend, in a volume of 240 L ha⁻¹.

For pests and disease control, insecticides and fungicides were applied preventively from the V5 phenological stage, totaling four applications until the grain harvest of Thiamethoxam (250 mL ha⁻¹) and Azoxystrobin + Ciproconazole (300 mL ha⁻¹) with vegetable oil at 0,5 % volume concentration of 200 L ha⁻¹ applied.

Experimental design

The experimental design was constituted of randomized block design, with four replications, using six soybean cultivars that were recently launched and with potential use in Machado region. These are: 5D6215 IPRO, 5D634 RR, NS 7709 IPRO, NS 7300 IPRO, NS 7667 IPRO, NS 7200 RR. Each plot was constituted of five lines with five meters each, spacing 0,5 m between them, totaling an area of 12,5 m² per plot and an experimental area of 300 m².

Analyzed Variables

In order to evaluate the different planted cultivars quality and the adaptability, the following evaluations were carried out:

Emergency in seedbed

Four replicates with 50 seeds were sown per treatment in a seedbed under environment condition, being irrigated when necessary. The evaluation was conducted since the first seedlings emergency until their stabilization; emergency speed rate was determined according to the formula proposed by Maguire (1962).

Plant height

Using a graduated ruler, plant height was measured at the time the plants were in R8 phenological stage, ten plants were randomly selected, in each plot within the useful area, considering the distance between the plant collar and the plant highest leaf insertion point sampled. Measurements were taken in centimeters.

First legume height of insertion

It was measured with a graduated ruler when the plants were at R8 phenological stage, ten random plants were selected in each plot within the useful area, considering the distance between the plant collar and the first plant legume insertion point, and it was also taken in centimeters.

Grain productivity

A manual harvest of each plot useful area was carried out, followed by grain weighing and moisture reading by the oven drying method (BRASIL, 2009). Afterwards, the moisture correction to 13 % was done by calculating the humidity break according to the following equation, in order to estimate the productivity in kilograms per hectare.

At which:

QU (%) = Humidity break;

U_i (%) = Initial humidity;

U_f (%) = Final humidity.

Number of pods per plant and number of grains per pod

Ten plants per plot were randomly collected from the experimental area at the time they were identified at the phenological stage of R8. After sampling, the number of pods per plant and the number of grains per pod were counted.

Lodging index

Considering each plot general aspect, the evaluation was conducted according to Bernard et al. (1965), before the harvest when the plants were at R8 phenological stage. It was found grade 1 for all standing plants, grade 2 for plants inclined or slightly bedded, grade 3 for plants moderately inclined or 25-50 % lodged, grade 4 for all plants severely inclined or 50-80 % lodged and grade 5 for plants more than 80 % lodged.

Statistical Analysis

Statistical analysis were performed using Sisvar software (FERREIRA, 2007). Scott-Knott test was applied at 5 % probability level for average comparison.

Results and discussion

It was observed most of the evaluated characteristics obtained significant results for the variables: productivity, plant height, first legume height of insertion, emergency speed rate and lodging. It was not found significance for number of pods per plant and number of grains per pod (TABLE 1).

Table 1. Variance analysis summary for yield (P), plant height (AP), first legume height of insertion (IL), lodging note (Ac), number of pods per plant (NV), number of grains per pod (NG) and emergency speed index (IVE) of six soybean genotypes grown in Machado, MG.

Variation Source	Medium Squares						
	P	AP	IL	Ac	NG	NV	IVE
Cultivars	1143745,45*	260,93*	20,98*	3,76*	ns	ns	0,19*
RSD (%)	7,33	8,43	8,9	21,37	6,84	21,15	5,40

* Significant at 5 % probability level.

Source: Elaborated by the authors (2016).

There was a difference in productivity for the cultivars observed, among them 5D634 RR, NS 7200 RR and NS 7709 IPRO with grain yield averages of 3.676,62 kg ha⁻¹, 3.612,45 kg ha⁻¹ and 3.377,90 kg ha⁻¹, respectively (TABLE 2).

According to 2015/2016 crop latest survey, national productivity averages and the state of Minas Gerais averages were 2.870 and 3.220 kg ha⁻¹, respectively (CONAB, 2016). Therefore, it can be stated that averages found for cultivars in Machado region are higher than the national average and the average for the state of Minas Gerais.

Table 2. Yield (P) average results of six soybean genotypes grown in Machado (MG).

Cultivars	Average P (kg ha ⁻¹)
5D634 RR	3.676,62 a
NS 7200 RR	3.612,45 a
NS 7709 IPRO	3.377,90 a
NS 7300 IPRO	3.008,12 b
NS 7667 IPRO	2.730,82 b
5D6215 IPRO	2.315,72 c

Averages followed by the same letter do not differ by Scott-Knott's test at 5 % probability.

Source: Elaborated by the authors (2016).

Grain yield is greatly influenced by several environmental factors, such as humidity, temperature and photoperiod, which vary through the seasons. High yields can be obtained when environmental conditions are favorable at all development stages (GUIMARÃES, 2006). The 2015/2016 summer crop in Machado region, Minas Gerais, was marked by heavy rainfall in January and February, which caused loss of soybean plants by tipping and defoliation in some plantations, consequently, influencing final yield.

Souza et al. (2015) evaluated the performance of 13 cultivars in Machado region, Minas Gerais, and they obtained satisfactory results with the materials 97R73 RR, BMX DESAFIO RR and LG 60177 IPRO, reaching yields averages from 4,692 to 5,376 kg ha⁻¹. In Lavras, Minas Gerais,

Batista et al. (2015) during the agricultural year 2014/2015 achieved good productivity averages with cultivars 7338 IPRO (4,420 kg ha⁻¹), LG 60177 IPRO (4,383 kg ha⁻¹) and 7209 IPRO (4,346 kg ha⁻¹).

All studied cultivars obtained plant height suitable for mechanized harvesting. It was also verified that plant heights varied from 81 to 103 cm, and the cultivars 5D634 RR and NS 7200 RR, which presented better yields also obtained higher plant height. In Inconfidentes, southern region of Minas Gerais, Batista et al. (2015) evaluated 22 soybean materials and obtained plants with height varying from 79 to 113 cm, all compatible with mechanized harvesting.

According to Sedyama et al. (2015), plant height depends on the growth type, habit, and the sowing season. Proper plant height results in a more efficient harvest and it can also influence production components with a direct effect on productivity. Plant heights between 60 and 120 cm are, therefore, considered suitable for harvest mechanization (REZENDE; CARVALHO, 2007).

Cultivar averages of first legume insertion height (TABLE 3) were presented as satisfactory for mechanized harvest. According to Marcos Filho (1986), the cultivar chosen for cultivation in a given locality must present a first legume height of insertion of at least 10 to 12 cm; however, for most of soybean crop conditions, satisfactory height is around 15 cm, although more modern harvesters can make a good harvest with plants presenting a 10 cm legume insert.

The evaluated cultivars obtained between 13,96 and 20,18 cm of first legume height of insertion; cultivars 5D634 RR, NS 7709 IPRO, NS 7300 IPRO and NS 7667 IPRO presented the highest height results, all above 18 cm. The results found in the present experiment were superior to those found by Verneti Junior et al. (2010), who evaluated, during the 2011/2012 agricultural year, twenty-six groups of cultivars from the maturation 6 group, with insertion of 9,3 cm pods, which are not appropriate for mechanical harvesting. In another situation, Cordeiro Junior et al. (2016) in Pindorama, São Paulo, evaluated cultivar NS 7667 IPRO, the same used in the current study, under no-tillage system, they found first legume height of insertion averages near to 14 cm. According to Sedyama (1972), environmental factors such as humidity, light and photoperiod can affect the first legume height of insertion.

Table 3. Plant height (AP) and first legume height of insertion (IL) averages of six soybean genotypes grown in Machado (MG).

Cultivars	Average	
	AP (cm)	IL (cm)
NS 7200 RR	103,17 a	17,63 b
5D634 RR	95,22 a	20,18 a
NS 7709 IPRO	89,1 b	19,72 a
NS 7667 IPRO	86,95 b	19,3 a
NS 7300 IPRO	83,16 b	18,9 a
5D6215 IPRO	81,72 b	13,96 b

Averages followed by the same letter do not differ in the column by the Scott-Knott test at 5 % probability.

Source: Elaborated by the authors (2016).

Cultivar seeds must have good genetic purity, physical, high vigor and sanity. The use of quality seeds is essential to reach high yields (SEDIYAMA et al., 2015).

In the present experiment, it was prioritized to identify the obtained seeds quality and their behavior along different cultivars emergency. Vanzolini and Carvalho (2002) stated that in lower seed lots, lower emergency and consequently lower emergency speed were observed, evidencing the best seed quality with a high emergency speed rate.

There was significant difference between the cultivars tested for emergency speed rate. According to Table 4, it is possible to observe the cultivars 5D6215 IPRO and NS 7200 RR were characterized by the greater emergency speed. Despite being characterized by a higher emergency speed, cultivar 5D6215 IPRO did not show superiority in relevant characteristics such as productivity.

Table 4. Emergency speed index (IVE) average results of six soybean genotypes grown in Machado (MG).

Cultivars	Average
	IVE
5D6215 IPRO	3,8 a
NS 7200 RR	3,67 a
NS 7300 IPRO	3,42 b
NS 7667 IPRO	3,34 b
NS 7709 IPRO	3,3 b
5D634 RR	3,27 b

Averages followed by the same letter do not differ in the column by the Scott-Knott test at 5 % probability.

Source: Elaborated by the authors (2016).

Lodging resistance is a key feature in achieving cultivar high productivity, and it is linked to plant height. Very tall and very thin stalks tend to lodging relatively easily, which can lead to grain losses during harvesting (SEDIYAMA, 2009). In the present research, notes comprised between 1 and 4 were observed as indicated in Table 5, and the cultivars 5D6215 IPRO, 5D634 RR, NS 7709 IPRO and NS 7200 RR were characterized with lower lodging scores ranging from 1,75 to 2,75.

According to Bernard et al. (1965) methodology, the outstanding cultivars group has shown to be slightly lodged, with less than 20% of their lodged plants, which values are within acceptable levels for mechanized harvesting. For the other evaluated cultivars, a satisfactory result for mechanized harvesting was not found. In Lavras, southern Minas Gerais, Carvalho et al. (2010) evaluated the performance of 24 cultivars obtaining good lodging results for all evaluated materials, with average variation grades between 1,00 and 2,00.

Table 5. Lodging average results (Ac) of six soybean genotypes grown in Machado (MG).

Cultivars	Average
	Ac
NS 7709 IPRO	1,75 a
5D6215 IPRO	2,25 a
NS 7200 RR	2,25 a
5D634 RR	2,75 a
NS 7667 IPRO	3,75 b
NS 7300 IPRO	4,25 b

Averages followed by the same letter do not differ in the column by the Scott-Knott test at 5 % probability.

Source: Elaborated by the authors (2016).

For number of pods, it was not observed significant difference between treatments (TABLE 6). However, Perini et al . (2012) evaluated BRS-282, BRS-246 RR, Potência RR and BRS-284, they found average number of pods per plant varying from 40 to 50. For number of grains per pod, there were no significant differences between the different cultivars analyzed either. In general, all cultivars presented from 1 to 2 grains per legume. There are few research papers describing the number of grains per legume interaction in soybean plants. The Cooperative Extension Service Ames- CESA (1994) states the number of grains per legume has substantial genetic control, therefore, little variation.

Table 6. Number of grains per pod (NG) and number of pods per plant (NV) average results of six soybean genotypes grown in Machado (MG).

Cultivars	Average	
	NG	NV
NS 7200 RR	1,87 a	55,74 a
NS 7667 IPRO	1,95 a	45,18 a
NS 7300 IPRO	2,07 a	41,25 a
5D634 RR	2,26 a	40,18 a
5D6215 IPRO	2,04 a	38,94 a
NS 7709 IPRO	2,14 a	35,80 a

Averages followed by the same letter do not differ in the column by Scott-Knott test at 5 % probability.

Source: Elaborated by the authors (2016).

Conclusions

Cultivars 5D634 RR, NS 7200 RR and NS 7709 IPRO obtained the best grain yield results.

Cultivars 5D6215 IPRO, 5D634 RR, NS 7709 IPRO and NS 7200 RR are within the acceptable levels of lodging for mechanized harvesting.

Cultivars 5D6215 IPRO and NS 7200 RR are characterized by the higher speed of emergency.

Based on the results, soybean cultivars 5D634 RR, NS 7200 RR and NS 7709 IPRO are recommended for the studied region, once it achieves superior productivity and acceptable lodging levels for mechanized harvesting.

Aspectos produtivos de cultivares de soja para região de Machado (MG), Brasil

Resumo

Em virtude do potencial produtivo e da grande importância na alimentação humana e animal, a soja ocupa uma posição de destaque na economia brasileira. O seu cultivo no sul de Minas Gerais vem ganhando espaço, porém sofre com pouca disponibilidade de cultivares adaptadas. Assim, o presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar os aspectos produtivos de diferentes cultivares de soja para região de Machado, Minas Gerais, a fim de identificar cultivares que possam ser recomendadas para o cultivo na região. Utilizou-se do delineamento experimental de blocos ao acaso com quatro repetições, cujos tratamentos foram seis cultivares de soja (5D6215 IPRO, 5D634 RR, NS 7709 IPRO, NS 7300 IPRO, NS 7667 IPRO e NS 7200 RR). A semeadura foi realizada na segunda semana de novembro de 2015. Verificou-se que a região de Machado se mostrou apta para o cultivo da soja, pois todos os cultivares apresentaram altura de planta e altura de inserção de primeiro legume favoráveis à colheita mecanizada. Destacam-se os cultivares 5D634 RR, NS 7200 RR e NS 7709 IPRO que obtiveram os melhores resultados de rendimento de grãos com 3.676,62, 3.612,45 e 3.377,90 kg ha⁻¹, respectivamente. Os cultivares 5D6215 IPRO, 5D634 RR, NS 7709 IPRO e NS 7200 RR encontram-se dentro dos níveis aceitáveis de acamamento para colheita mecanizada. Os cultivares 5D6215 IPRO e NS 7200 RR demonstram um maior índice velocidade de emergência em relação aos outros cultivares estudados.

Palavras-chave: *Glycine max* (L.) Merrill. Rendimento de grãos. Adaptabilidade

References

BATISTA, E. C.; PEREIRA, J. L.; SOUZA, L. T.; BRANDÃO, W. M.; SOUZA, T. T.; SOUZA, D. F.; SILVA, F. B. Caracterização agrônômica de cultivares de soja para o Sul de Minas Gerais no Município de Inconfidentes. In: JORNADA CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA DO IFSULDEMINAS, 7., 2015. Poços de Caldas. **Resumo**...Poços de Caldas, 2015.

BERNARD, R. L.; CHAMBERLAIN, D. W.; LAWRENCE, R. D. (Eds.). **Result of the cooperative uniform soybeans tests**. Washington: USDA, 1965. 134 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília, 2009. 399 p.

CARVALHO, E. R.; REZENDE, P. M.; OGOSHI, F. G. A.; BOTREL, E. P.; ALCANTARA, H. P.; SANTOS, J. P. Desempenho de cultivares de soja [*Glycine max* (L.) Merrill] em cultivo verão no Sul de Minas Gerais, **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 4, p. 892-899, jul./ago., 2010.

COOPERATIVE EXTENSION SERVICE AMES (CESA). **How a soybean plant develops**. Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1994. 20p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB), **Acompanhamento de safra de grãos, SAFRA 2015/2016**, n. 12, setembro, 2016. Disponível em http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_09_09_15_18_32_boletim_12_setembro.pdf. Acesso em: 10 set. 2016.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Series Históricas**. 2016. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=2>. Acesso em: 10 set. 2016.

CORDEIRO JUNIOR, P. S.; FINOTO, E. L.; MARTINS, M. H.; SOUSA, J. B. L.; SOUSA NETO, J. Características agronômicas de cultivares de soja RR1 e RR2 cultivadas em argissolo sob sistema de plantio direto na reforma de cana crua. In: WORKSHOP AGROENERGIA MATÉRIAS-PRIMAS, 10., 2016. Ribeirão Preto. **Resumo**. Centro de Convenções da Cana, Ribeirão Preto, 2016. Disponível em: http://www.infobibos.com/Agroenergia/CD_2016/Resumos/ResumoAgroenergia_2016_052.pdf Acesso em: 12 set. 2016.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA), **Tecnologias de produção de soja Região Central do Brasil 2011**. Paraná: Embrapa Soja, 2010. p. 255.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006. p. 304.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS STATISTICS DIVISION (FAOS). **Production quantities of Rice, paddy by country 2014**. Disponível em: <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/E>. Acesso em: 2 out. 2016.

FERREIRA, D. F. **Sisvar 5.1 - Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows**. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2007.

GUIMARÃES, F. S. **Cultivares de soja [Glycine max (L.) Merrill] para cultivo de verão na região de Lavras-MG**, Lavras, UFLA, 2006. p. 44.

MAGUIRE, J. D. Speed of germination aid in selection and evaluation for seedling and vigour, **Crop Science**, Madison, v. 2, n. 2, p. 176-177, 1962.

MARCOS FILHO, J. **Produção de sementes de soja**. Campinas: Fundação Cargill, 1986. p. 86.

PERINI, L. J.; FONSECA JÚNIOR, N. S.; DESTRO, D.; PRETE, C. E. C. Componentes da produção em cultivares de soja com crescimento determinado e indeterminado, **Semana: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, supl. 1, p. 2531-2544, 2012.

REZENDE, P. M.; CARVALHO, E. A. Avaliação de cultivares de soja [*glycine max* (L.) Merrill] para o Sul de Minas Gerais, **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 6, p. 1616-1623, nov./dez., 2007.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; VICENTE, V. H. A. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**: 5a aproximação, Lavras, UFLA, 1999. p. 359.

SEDIYAMA, C. S.; VIEIRA, C.; SEDIYAMA, T.; CARDOSO, A. A.; ESTEVÃO, H. H. Influência do retardamento da colheita sobre a deiscência das vagens e sobre a qualidade e poder germinativo das sementes de soja. **Experientiae**, Viçosa, v. 14, n. 5, p. 117-141, set. 1972.

SEDIYAMA, T.; SILVA, F.; BORÉM, A. **Soja**: do plantio à colheita. Viçosa : UFV, 2015.

SEDIYAMA, T.; TEIXEIRA, R. C. T.; BARROS, H. B. Cultivares. In: SEDIYAMA, T. (Ed.). **Tecnologias de produção e usos da soja**. Londrina, PR: Mecenias, 2009. p. 77-91.

SOUZA, C. W. A.; VEIGA, A. A.; VEIGA, P. A.; SILVA, P. A. P. L.; BERNARDES, T. A. S.; LOURENÇO, R. C. Avaliação de aspectos produtivos de diferentes cultivares de soja para região de Machado-MG. In: JORNADA CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA DO IFSULDEMINAS. 7., 2015. Poços de Caldas. **Resumo**. Poços de Caldas, 2015.

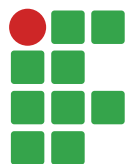
UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE, FOREIGN AGRICULTURAL SERVICE (USDA), **Table 07**: Soybeans: World Supply and Distribution. 2016. Disponível em: <http://apps.fas.usda.gov/psdonline/psdReport.aspx?hidReportRetrievalName=Table+07%3a+Soybeans%3a+World+-+Supply+and+Distribution&hidReportRetrievalID=706&hidReportRetrievalTemplateID=8>. Acesso em: 10 set. 2016.

VANZOLINI, S.; CARVALHO, N. M. Efeito do vigor de sementes de soja sobre seu desempenho em campo. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 24, n. 1, p. 33-41, 2002.

VERNETTI JUNIOR, F. J.; FRAGA, M. S.; NUNES, T. L. Avaliação de cultivares de soja do grupo de maturidade seis tolerantes ao Glifosato da rede soja sul de pesquisa na Embrapa clima temperado. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIAO SUL, 38., 2010, Cruz Alta, RS. **Resumo**. Cruz Alta: Fundação Centro de Experimentação e Pesquisa, 2010. p. 41-44.

Received: January 16, 2018

Accepted: March 5, 2018



Fitting of decomposition of sewage sludge and oat straw by nonlinear models

Edilson Marcelino Silva¹

Sílvio de Castro Silveira²

Thais Destefani Ribeiro Furtado³

Joel Augusto Muniz⁴

Abstract

An economic and environmentally feasible way to recycle sewage sludge is its use in agriculture. Information on carbon mineralization curves allows us to seek improvements in soil quality and crop productivity. The objective of this work was to evaluate the nonlinear models that describe carbon mineralization in the soil. The experiment was conducted in laboratory and the design was completely randomized, with four replicates and three treatments. The following treatments were evaluated: sewage sludge, black oat straw and sewage sludge + oat straw, incorporated into the soil. Pots with soil and the applied treatment were incubated for 110 days. The Stanford and Smith and Cabrera models were used, considering structure of autoregressive errors AR (1) when necessary. The fittings were compared using the Akaike Information Criterion (AIC). The evaluated nonlinear models described the carbon decomposition dynamics of the treatments satisfactorily. The Stanford and Smith model is suitable for describing the carbon decomposition in the soil + sludge and soil + oat straw treatments. The Cabrera model is suitable to describe the carbon decomposition of the soil + sludge + straw treatment.

Keywords: Mineralization. Stanford and Smith model. Cabrera model. Half-life.

Introduction

Sewage sludge is an organic waste generated at the end of the process of treatment of water in the treatment plants, at home or industrial, and its ecologically correct and economically feasible final disposal has been a concern for the sanitation companies. Sewage sludge is a product rich in organic matter (OM) and nutrients and it can be used as soil conditioner and fertilizer in agriculture (CARVALHO et al. 2015; SILVA; ANDRADE PINTO, 2010). Agricultural recycling of sewage sludge is interesting from an economic and environmental point of view, being a beneficial alternative to its use as OM, releasing nutrients to the soil (PAREDES FILHO, 2011).

Studies have shown (SILVA; ANDRADE PINTO, 2010) that the use of sewage sludge in agriculture has a positive effect on the development of vegetation and recovery of degraded soils, since the decomposition of this residue generates an organic fertilizer, improving soil physical and

1 Universidade Federal de Lavras (UFLA), doutorando em Estatística e Experimentação Agropecuária. edilsonmg3@hotmail.com. Departamento de Estatística, Caixa Postal 37, Campus Universitário da UFLA, Lavras, Minas Gerais, 37200-000.

2 UFLA, doutor em Estatística e Experimentação Agropecuária. silviodecs@gmail.com.

3 UFLA, doutora em Estatística e Experimentação Agropecuária. t.destefani.ribeiro@gmail.com.

4 UFLA, professor titular. joamuniz@des.ufla.br.

chemical properties and providing macro and micronutrients. Silva and Andrade Pinto (2010) found that sewage sludge was a feasible alternative to the environment with lower fertilization expense and provided satisfactory development of native forest species.

Although it is rich in macro and micronutrients, it is necessary to know the decomposition of the sewage sludge in the soil so that it can be properly disposed in the environment; if the final disposal of the sludge is not a safe alternative, it can reduce the benefits of sanitation. It is known that at the beginning of the process of decomposition of the organic residue in the soil, the amount of mineralized carbon (C) is higher, since fractions of easily degradable substances are present, then this amount decreases by the mineralization of more resistant carbon fractions (PULROLNIK, 2009). This dynamic of decomposition is described by nonlinear models.

Stanford and Smith (1972) proposed a nonlinear model that describes the organic residue composition as only a fraction of carbon that is mineralized exponentially. The Stanford and Smith model has been the most used to model the accumulated CO₂ and to estimate decomposition rate (k) and amount of potentially mineralizable carbon (C₀).

Moretti et al. (2015) evaluated two trials with sewage sludge; in trial I, they evaluated three rates equivalent to 0, 21.2, and 42.4 mg ha⁻¹ and sewage sludge compost rates; in trial II, five rates between 0 and 480 mg ha⁻¹ simulating successive applications of the residue into the soil. The authors concluded that the fractions of decomposition of the sludge compost were greater than those found for sewage sludge. Paula et al. (2013) analyzed different methods of estimating mineralized fractions of several manure, sewage sludge and urban waste compost in the field and observed that after 120 days, more than 89% of the organic carbon fractions added had been mineralized. Andrade et al. (2013) evaluated the carbon mineralization dynamics in the soil after successive applications of sewage sludge and observed that there was an increase of potentially mineralizable carbon in the soil. All these authors used the Stanford and Smith model to model data of accumulated CO₂ released from the soil.

Cabrera (1993) proposed a nonlinear model to describe the mineralization of chemical elements into two phases; the first corresponds to easily mineralizable substances that have exponential behavior, and the other to more resistant substances with constant mineralization.

Sleutel et al. (2005) evaluated the fit of five nonlinear models, including the Cabrera (1993) model, to C mineralization data of four organic residues and observed that the models satisfactorily described soil C dynamics. Martines et al. (2006) evaluated C mineralization of tannery sludge and found that at the beginning of the incubation there was a phase of rapid mineralization, followed by a slower phase of C mineralization.

Prado et al. (2013) report that, in studies involving fitting of nonlinear models for data with measures taken over time, experimental errors can be correlated, which also occurs for data accumulated in studies of soil respiration (HESS; SCHMIDT, 1995). Fernandes et al. (2014), Muianga et al. (2016) and Muniz et al. (2017) emphasize that the estimation of this correlation should be considered in modeling studies, since they lead to adequate fittings and confidence intervals for the most accurate parameters.

The decomposition dynamics of organic residues in the soil depends on chemical composition of the residue, besides other factors; they can be described by models that consider one or two mineralization phases. This aspect needs to be evaluated in the decomposition process for a better management of agricultural soils.

The objective of this work was to evaluate the fitting of Stanford and Smith and Cabrera nonlinear models in the decomposition of sewage sludge, black oat straw, and sludge + oat straw, incorporated

into the soil, based on the amount of mineralized CO₂, to indicate the most appropriate model, and estimate the half-life of the easily and potentially mineralizable carbons.

Material and methods

The data used for the model fittings were extracted from Giacomini et al. (2015) and correspond to the results of an experiment that evaluated carbon mineralization of sewage sludge, black oat straw, and sludge + straw, incorporated into the soil.

The experiment was conducted at the Soil Science Laboratory of the Federal University of Santa Maria, RS, Brazil. An arenic dystrophic Red Argissolo (Ultisol) from the 0-10 cm layer of a no-till area under a soybean-oat rotation was evaluated. The soil presented 17 g kg⁻¹ of organic matter, 150 g kg⁻¹ of clay, and pH in water of 5.3. After sampling, the soil was sieved (<4.75mm), ground and stored at room temperature in a dark plastic bag for four days before incubation.

Sewage sludge (SS) was collected at the Santa Maria Sewage Treatment Station of the Sanitation Company of Rio Grande do Sul. The sludge was processed in a system of activation of prolonged aerobic sewage and continuous flow. The SS was then placed in drying containers, from which a sample of approximately 10 kg of SS was collected; it was placed in a plastic container with a lid and taken to the laboratory. After homogenization, three subsamples of SS were taken from the bucket for chemical and physical characterization. Dry matter was determined by drying approximately 50g of SS in an oven at 65 °C to constant weight. The sample pH was measured directly in an aliquot of approximately 12 g of fresh SS. After determining dry matter, three subsamples were ground to determine total C, total N, ammoniacal N, and nitric N.

Black oat straw was collected at physiological maturity. After collection, the straw was air dried and stored until incubation. Before starting incubation, straw samples were dried in an oven at 65°C until constant weight. Total C and N levels in the dry and ground materials were determined. The characteristics of the SS and straw are shown in Table 1.

Table 1. Amounts of dry matter (DM), total carbon (C), and nitrogen (N) added to soil by sewage sludge and black oat straw (GIACOMINI et al., 2015).

Organic material	DM	Total C	Total N	Ammoniacal N	Nitric N	Organic N	C/N	pH
g kg⁻¹								
Sludge	70	21.7	4.03	0.59	0.01	3.43	5.4	6.8
Oat	1000	409.9	4.93	-	-	-	71.0	
mg kg⁻¹								
Sludge	3505	1086	201.8	29.6	0.5	171.7	-	-
Oat	5093	2087	25.1	-	-	-	-	-

Source: Elaborated by the authors (2018).

C mineralization of sludge, straw, and sludge + straw incorporated into the soil were evaluated. The experiment was conducted in a completely randomized design with four replications, in which the following treatments were evaluated: soil + incorporated sludge, soil + incorporated black oat straw, and soil + incorporated sludge + incorporated black oat straw. The treatments applied were incubated for 110 days in the dark at 25 °C. Soil moisture was adjusted to approximately 80% of field capacity and maintained at this level throughout the incubation period by adding water periodically. Acrylic containers (diameter 5 cm, volume 110 mL) were used in the experiment.

Each container received 133.1 g of soil with 13% water content compacted to a height of 5 cm to reach an apparent density of 1.2 mg m⁻³. The dried straw was cut manually (length 10-20 mm) and added (600 mg per container, corresponding to 3 mg ha⁻¹ of dry straw) to the soil. Fresh SS was added to soil at a rate of 30 mg ha⁻¹. Straw and SS were incorporated into the soil before filling the containers. The acrylic containers were individually placed in 800-mL glass containers with lid. All glass containers were aerated periodically for 10 minutes to avoid O₂ deficit. Soil moisture was controlled by weighing each experimental unit and adding water when necessary using a pipette. C mineralization was evaluated by the amount of CO₂ released at 2, 4, 6, 10, 14, 21, 28, 35, 45, 60, 75, 86 and 110 days after the beginning of the incubation in the same containers.

The Stanford and Smith model was evaluated, which is given by $C_t = C_0(1 - \exp(-kt)) + \varepsilon_t$, and the Cabrera model, given by $C_t = C_1(1 - \exp(-k_1t)) + k_0t + \varepsilon_t$. The authors Zeviani et al. (2012) proposed a reparametrization of the model in which $k_1 = \ln 2/v$, so the model is given by $C_t = C_1(1 - \exp(-\ln 2.t/v)) + k_0t + \varepsilon_t$. In the models, C_t is the mineralized carbon (mg of CO₂ kg⁻¹) up to the time t (days); C_0 is the potentially mineralizable carbon; k and k_0 are mineralization rates; C_1 is the easily mineralizable carbon; v is the half-life of the easily mineralizable carbon; and ε_t is the experimental error assuming a normal distribution with mean zero and variance σ^2 . The half-life of the potentially mineralizable carbon for the Stanford and Smith model was estimated by the expression $v = \ln(2)/k$. According to Fernandes et al. (2015), reparametrization does not change the values estimated by the model nor the estimated values of fit quality. If the parameter k_0 of the Cabrera model is zero, the Cabrera model is reduced to the Stanford and Smith model.

The adequacy of the models was made based on the analysis of the estimated errors, being applied the tests: Shapiro-Wilk, to verify the assumption of normality of the errors; Breusch-Pagan, to verify the hypothesis that the experimental errors are homoscedastic; Durbin-Watson, to verify the assumption of independence of the errors. When the Durbin-Watson test indicated that the errors were dependent, the structure $\varepsilon_t = \phi\varepsilon_{t-1} + \lambda_t$ was considered, wherein ϕ is the first-order autoregressive parameter AR(1), and λ_t is the white noise (MORETTIN; TOLOI, 2006). If the assumption of normality is met, a confidence interval of 95% of probability can be estimated for the parameters of the model.

The quality of the fitting was evaluated by the adjusted coefficient of determination:

$$R^2_{aj} = 1 - \frac{(n-1)(1-R^2)}{n-p}, \text{ at which values closer to 1 indicate better fittings. The selection of the best}$$

model was based on Akaike Information Criterion: $AIC = -2\ln L() + 2p$, which is proportional to the mean square of the residue, being more appropriate the model that presents the lowest value. In the expressions, n is the number of observations used to fit the model, i is related to the model intercept, which is equal to 1 if there is an intercept and 0 otherwise, p is the number of parameters; $R^2 = 1 - SSE/TSS$ is the coefficient of determination, wherein SSE is the sum of squares of the errors, TSS is the total sum of the squares, and $\ln L()$ is the value of the natural logarithm of the likelihood function, considering the estimates of the parameters.

In studies with nonlinear models, there is no closed form to solve the system of normal equations, so the estimation of the parameters is done with approximations by iterative numerical methods (DRAPER; SMITH, 2014). Among the iterative methods, the Gauss-Newton is the most used (CARNEIRO et al., 2014; FERNANDES et al., 2014; GUEDES et al., 2004; SILVEIRA et al., 2018). The parameters were estimated using the generalized least squares method, implemented in the `gnls` function of the `nlme` package (PINHEIRO et al., 2015) of the R program (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2017).

Results and discussion

The results of the analysis of errors estimated by the models, based on the carbon mineralization in the soil, for the Shapiro-Wilk (SW), Breusch-Pagan (BP), and Durbin-Watson (DW) tests are presented in Table 2. The SW test was not significant (p -value > 0.05) for the three treatments and both models, and the assumption of normality of the errors was corroborated by the test. The BP test showed the hypothesis of homogeneity of variances were not rejected (p -value > 0.05) for the three treatments and both models, indicating the variances were homogeneous. The DW test showed a dependence on the errors (p -value < 0.05) for the soil + sludge + oat straw and soil + oat straw treatments for both models, i.e. the hypothesis of independence of the errors was rejected, and this correlation was considered in the study. Thus, a fitting with a first-order autoregressive error AR(1) was presented to explain the dependence of the errors of these treatments with both models. This correlation of errors was also observed by Hess and Schmidt (1995) in the fitting of a nonlinear model to accumulated data of CO₂ releases from the soil. Pereira et al. (2005) compared eight nonlinear models to predict the amount of mineralized nitrogen in the soil and found residual dependence for two models, they considered autoregressive errors of order AR(p) in the fitted models.

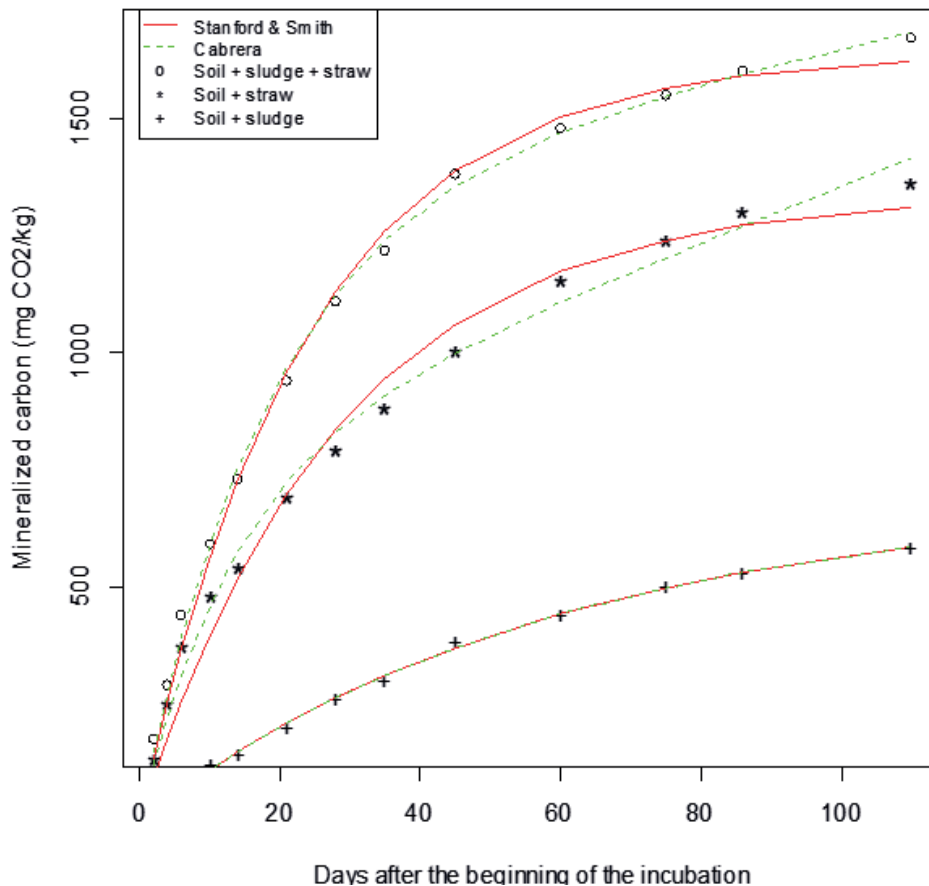
Table 2. *P*-values of the Shapiro-Wilk (SW), Durbin-Watson (DW), and Breusch-Pagan (BP) tests applied to the errors of the models and fit quality evaluators, adjusted coefficient of determination (R^2_{aj}) and Akaike Information Criterion (AIC) for mineralized carbon (mg CO₂ kg⁻¹) of the evaluated treatments.

Treatment	Model	SW p-value	BP p-value	DW p-value	R^2_{aj}	AIC
Sludge + straw	Stanford and Smith	0.4881	0.5067	0.0020	0.9939	128.99
Sludge + straw	Cabrera	0.7745	0.3023	0.0120	0.9976	125.56
Straw	Stanford and Smith	0.8777	0.2086	0.0000	0.9686	133.81
Straw	Cabrera	0.2866	0.2519	0.0040	0.9861	134.63
Sludge	Stanford and Smith	0.4782	0.0884	0.4220	0.9984	93.79
Sludge	Cabrera	0.4412	0.1783	0.2740	0.9983	95.78

Source: Elaborated by the authors (2018).

According to Table 2, by fitting the models to the C decomposition data, R^2_{aj} values were higher than 0.96, indicating the model adequately describes the data (FIGURE 1). Sleutel et al. (2005) evaluated the fit of five nonlinear models in the C mineralization of four types of organic residues, they found R^2_{aj} values above 0.97 and concluded the models described the data satisfactorily.

Figure 1. Stanford and Smith model and Cabrera model fitted to carbon mineralization (mg of CO₂ kg⁻¹) of organic residues in soils as a function of incubation time.



Source: Elaborated by the authors (2018)

The estimates of the parameters of the models and their respective confidence intervals of 95% probability are presented in Table 3. The estimation of the confidence interval of the parameter k_0 of the Cabrera model, considering the treatment soil + sludge, included the value zero. According to Zeviani et al. (2012), this result indicates a zero parametric value, i.e., the Cabrera model did not fit to this treatment, therefore disregarding parameter k_0 , the model is reduced to the Stanford and Smith with only a fraction of potentially mineralizable carbon. Similar results were found by Sleutel et al. (2005) by fitting the Cabrera model and obtaining k_0 equal to zero to decomposition data of C of urban waste compost. Considering the Cabrera model and the estimates of the confidence intervals for the soil + sludge + straw and soil + straw treatments, any parameter of the model included the value zero, showing that the model describes the treatments. The Stanford and Smith model was fitted to the data of the three treatments, since the estimates of confidence intervals show that any parameters of the model included value zero.

The soil + sludge + straw treatment showed a lower AIC value (TABLE 2) for the Cabrera model, therefore, this model is the most adequate to describe the treatment. Thus, this treatment had two fractions of C, one that is easily mineralized with exponential behavior and another more resistant fraction with a constant mineralization. The soil + straw treatment presented the lowest AIC value (TABLE 2) for the Stanford and Smith model, which was the most adequate model to describe this treatment. Thus, this treatment had only a potentially mineralizable C fraction that is mineralized exponentially.

Table 3. Estimates for the parameters of the models and their respective asymptotic confidence intervals of 95% (LL = lower limit and UL = upper limit) in the fitting of the mineralized C (mg of CO₂ kg⁻¹) in the evaluated treatments.

	Model Stanford and Smith			Model Cabrera			
	LL	Estimate	UL	LL	Estimate	UL	
Sludge + straw							
C ₀	1576.41	1670.14	1763.87	C ₁	1182.10	1355.51	1528.93
k	0.0324	0.0382	0.0440	v	10.83	13.30	15.76
φ	0.4802	0.8008	1.1215	k ₀	1.16	2.94	4.72
v	15.75	18.14	21.39	φ	-0.2494	0.4344	1.1182
Straw							
C ₀	1228.45	1389.51	1550.57	C ₁	669.14	1004.74	1340.34
k	0.0203	0.0277	0.0349	v	7.88	15.24	22.59
φ	0.3773	0.8863	1.3952	k ₀	0.16	3.26	6.36
v	19.86	25.02	34.14	φ	-0.0550	0.7405	1.5360
Sludge							
C ₀	660.23	692.30	729.13	C ₁	387.42	666.64	2213.57
k	0.0154	0.0169	0.0185	v	24.47	39.77	88.50
v	37.46	41.01	45.00	k ₀	-6.38	0.15	2.21

Source: Elaborated by the authors (2018)

Considering the Stanford and Smith model, there was a significant difference between the potentially mineralizable carbon (C₀) of the treatments (TABLE 3), since there was no overlap in the estimates of the confidence intervals. The soil + sludge + straw treatment presented the highest amount of potentially mineralizable carbon, followed by the soil + straw treatment and soil + sludge treatment. This result corroborates the conclusions of Giacomini et al. (2015), who found similar results after 110 days from the beginning of incubation. These authors attributed this difference to the amounts of C added to each treatment and to the different chemical compositions of the organic materials that facilitated the use of C by microorganisms. The amount of C added by the oat straw is approximately twice as high as that added by the sewage sludge (TABLE 1).

The estimation of the confidence interval for mineralization rate (k) showed that the soil + sludge treatment was significantly smaller (there was no overlap in the confidence interval estimates) than the other treatments. Consequently, the half-life (v) for this treatment was significantly higher, with an estimate of approximately 41 days. Although the potentially mineralizable carbon of the soil + sludge + straw treatment was higher than soil + straw, they presented no difference in mineralization rate (k), as there was an overlap in the estimates of the confidence intervals for this parameter, consequently, no difference between their half-life (v), which were approximately 18 and 25 days, respectively.

Considering the Cabrera model, the value of easily mineralizable carbon (C₁) of the soil + sludge + straw treatment was lower than that of the soil + straw treatment (TABLE 3), since there was an overlap in the estimates of the confidence intervals. Thus, the adding of sludge and straw did not increase the activity of microorganisms in the decomposition of the easily degradable fractions. Similarly, Moretti et al. (2015) found that the sludge rate of 42.4 mg ha⁻¹ presented lower value of potentially mineralizable carbon (C₀) than the rate of 21.2 mg ha⁻¹.

Estimates for half-life of easily mineralized carbon (v), considering the Cabrera model, were approximately 13 and 15 days (TABLE 3) for the soil + sludge + straw treatment and soil + straw treatment, respectively, not differing statistically, since there was an overlap in the confidence interval estimates. This result agrees with those of Moretti et al. (2015), who found no significant difference in potentially mineralizable carbon half-life for five rates between 0 and 480 mg ha⁻¹, and half-life of 15 days for two rates, within the confidence intervals. These results were higher than those of Martines et al. (2006), who found an average of 6 days for potentially mineralizable carbon half-life with application of tannery sludge rates to soils with different textural class; this difference is probably due to the difference in chemical composition of sewage sludge and tannery sludge. Paula et al. (2013) compared the mineralization rate (k) of the Stanford and Smith model of several residues on the soil surface in the field and found higher value of this parameter for the sewage sludge, denoting greater decomposition of this waste in the first days.

Conclusion

The Stanford and Smith model is suitable for describing the carbon decomposition of soil + incorporated sewage sludge treatment and soil + incorporated black oat straw treatment.

The Cabrera model is suitable for describing the carbon decomposition of the soil + sludge + incorporated oat straw treatment.

The half-life (v) of the potentially mineralizable carbon is approximately 41 days for the soil + sludge treatment and is higher than that of the soil + straw treatment and soil + straw + sludge treatment, which is approximately 25 and 18 days, respectively.

The half-life (v) of the easily mineralizable carbon is approximately 13 and 15 days for the soil + sludge + straw and soil + straw treatments, respectively, which presented no significant difference between them.

Acknowledgements

The authors thank the Brazilian Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel (CAPES) for granting doctoral scholarship to the first author.

Ajuste da decomposição do lodo de esgoto e palha de aveia por modelos não lineares

Resumo

Uma forma viável econômica e ambientalmente da reciclagem do lodo de esgoto é o manejo agrícola. O conhecimento das curvas de mineralização do carbono permite buscar melhorias na qualidade do solo e maior produtividade das culturas. O objetivo deste trabalho foi avaliar o ajuste de modelos não lineares que descrevem a mineralização do carbono no solo. O experimento foi conduzido em laboratório e o delineamento foi inteiramente ao acaso, com quatro repetições e três tratamentos. Foram avaliados os seguintes tratamentos: Solo + Lodo de esgoto, Solo + Palha de aveia preta e Solo + Lodo + Palha, incorporados ao solo. Recipientes com solo e tratamento aplicado foram incubados

por 110 dias. Foram utilizados os modelos Stanford & Smith e Cabrera, considerando estrutura de erros autorregressivos AR(1), quando necessário. Os ajustes foram comparados utilizando o critério de informação de Akaike (AIC). Os modelos não lineares avaliados descrevem de forma satisfatória a dinâmica de decomposição do carbono dos tratamentos. O modelo Stanford & Smith é adequado para descrever a decomposição do carbono dos tratamentos Solo + Lodo e Solo + Palha de aveia, incorporados. O modelo Cabrera é adequado para descrever a decomposição do carbono do tratamento Solo + Lodo + Palha incorporada.

Palavras-chave: Mineralização. Modelo Stanford & Smith. Modelo Cabrera. Tempo de meia-vida.

References

ANDRADE, C. A.; SILVA, L. F. M.; PIRES, A. M. M.; COSCIONE, A. R. Mineralization of carbon and nitrogen in soil after successive applications of sewage sludge. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 48, n. 5, p. 536-544, maio 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2013000500010&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 11 fev. 2017.

CABRERA, M. L. Modeling the flush of nitrogen mineralization caused by drying and rewetting soils. **Soil Science Society of America Journal**, Fayetteville, v. 57, p. 63-66, 1993.

CARNEIRO, A. P. S.; MUNIZ, J. A.; CARNEIRO, P. L. S.; MALHADO, C. H. M. M.; MARTINS FILHO, R.; SILVA, F. F. Identity of nonlinear models to compare growth curves of the cattle breed Tabapuã. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 49, n. 1, p. 57-62, jan. 2014. Disponível em: <<https://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/view/18183>>. Acesso em: 04 ago. 2017.

CARVALHO, C. S.; RIBEIRINHO, V. S.; ANDRADE, C. A.; GRUTZMACHER, P.; PIRES, A. M. M. Chemical composition of sewage sludge organic matter. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 10, n. 3, p. 413-419, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5039/agraria.v10i3a5174>>. Acesso em: 11 dez. 2016.

DRAPER, N. R.; SMITH, H. **Applied regression analysis**. 3 ed., reprint. New York: J. Wiley, p. 505-565, 2014.

FERNANDES, T. J.; MUNIZ, J. A.; PEREIRA, A. A.; MUNIZ, F. R.; MUIANGA, C. A. Parameterization effects in nonlinear models to describe growth curves. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 37, n. 4, p. 397-402, 2015. Disponível em: <http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciTechnol/article/view/27855/pdf_119>. Acesso em: 5 mar. 2017.

FERNANDES, T. J.; PEREIRA, A. A.; MUNIZ, J. A.; SAVIAN, T. V. Selection of nonlinear models for the description of the growth curves of coffee fruit. **Coffee Science**, Lavras, v. 9, n. 2, p. 207-215, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.25186/cs.v9i2.618>>. Acesso em: 5 mar. 2017.

GIACOMINI, S. J.; SIMON, V. L. G.; AITA, C.; BASTOS, L. M.; WEILER, D. A.; REDIN, M. Carbon and nitrogen mineralization in soil combining sewage sludge and straw. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 1428-1435, 2015. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832015000501428&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 29 jan. 2017.

GUEDES, M. H. P.; MUNIZ, J. A.; PEREZ, J. R. O.; SILVA, F. F.; AQUINO, L. H.; SANTOS, C. L. Growth functions of Santa Inês and Bergamacy lambs considering heteroscedastic variance. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 28, n. 2, p. 381-388, 2004. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-70542004000200019&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 06 mar. 2017.

HESS, T. F.; SCHMIDT, S. K. Improved procedure for obtaining statistically valid parameter estimates from soil respiration data. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 27, p. 1-7, 1995. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/003807179400166X>>. Acesso em: 28 nov. 2016.

MARTINES, A. M.; ANDRADE, C. A.; CARDOSO, E. J. B. N. Mineralization of the organic carbon in soils treated with tannery sludges. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 7, p. 1149-1155, 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2006000700011&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 28 nov. 2016.

MORETTI, S. M. L.; BERTONCINI, E. I.; ABREU JUNIOR, C. H. Decomposition of sewage sludge and sewage sludge compost in a hapludox soil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, p. 1796-1805, 2015. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832015000601796&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 12 jan. 2017.

MORETTIN, P. T.; TOLOI, C. M. C. **Análise de séries temporais**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, p. 110-119, 2006.

MUIANGA, C. A.; MUNIZ, J. A.; NASCIMENTO, M. S. FERNANDES, T. J.; SAVIAN, T. V. Description of the growth curve of cashew fruits in nonlinear models. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 38, n. 1, p. 22-32, 2016. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-29452016000100022&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 7 ago. 2017.

MUNIZ, J. A.; NASCIMENTO, M. S.; FERNANDES, T. J. Nonlinear models for description of cacao fruit growth with assumption violations. **Revista Caatinga**, v. 30, n. 1, p. 250-257, 2017. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1983-21252017000100250&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 05 set. 2017.

PAULA, J. R.; MATOS, A. T.; MATOS, M. P.; PEREIRA, M. S.; ANDRADE, C. A. Carbon and nitrogen mineralization of wastes applied to soil under field conditions. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, p. 1729-1741, 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832013000600029&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 12 nov. 2017.

PAREDES FILHO, M. V. Composting of sewage sludge for agricultural use. **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre, v. 3, p. 73-80, dezembro, 2011. Disponível em: <<https://doi.org/10.18406/2316-1817v3n32011364>>. Acesso em: 08 ago. 2017.

PEREIRA, J. M.; MUNIZ, J. A.; SILVA, C. A. Nonlinear models to predict nitrogen mineralization in an oxisol. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 62, n. 4, p. 395-400, 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-90162005000400014&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 14 mar. 2018.

PINHEIRO, J.; BATES, D.; DEBROY, S.; SARKAR, D. **nlme: linear and nonlinear mixed effects models**. R package version 3, p. 1-122, 2015.

PRADO, T. K. L.; SAVIAN, T. V.; MUNIZ, J. A. The fit Gompertz and Logistic models to the growth data of green dwarf coconut fruits. **Ciência Rural**, v. 43, n. 5, p. 803-809, 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782013000500008&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 12 set. 2017.

PULROLNIK, K. **Transformações do carbono no solo**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, p. 1-36, 2009.

R Core team. **R: a language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing Viena: 2017.

SILVA, B. V. N.; ANDRADE PINTO, L. V.; Potential use of the sewage sludge as organic manuring in covering forestation native arboreal species planted in area degraded by intensive pasturing. **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre, p. 50-56, abril, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.18406/2316-1817v2n12010251>>. Acesso em: 18 mar. 2017.

SILVEIRA, S. C.; MUNIZ, J. A.; SOUSA, F. A.; CAMPOS, A. T. Non-linear models adjusted to the accumulated production of biogas originating from swine deep bedding. **Revista Agrogeoambiental**, v. 10, n. 3, p. 91-103, 2018. Disponível em: <<https://agrogeoambiental.ifsuldeminas.edu.br/index.php/Agrogeoambiental/article/view/1168/pdf>>. Acesso em: 26 nov. 2018.

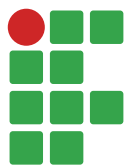
SLEUTEL, S.; NEVE, S.; ROIBÁS, M. R. P.; HOFMAN, G. The influence of model type and incubation time on the estimation of stable organic carbon in organic materials. **European Journal of Soil Science**, v. 56, p. 505-514, 2005. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1365-2389.2004.00685.x>>. Acesso em: 23 nov. 2016.

STANFORD, G.; SMITH, S. J. Nitrogen mineralization potentials of soil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 36, n. 3, p. 465-471, 1972.

ZEVIANI, W. M.; SILVA, C. A.; OLIVEIRA, W. J.; MUNIZ, J. A. Non-linear models to potassium release from animals manure in Latosols. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 10, p. 1789-1796, 2012. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782012001000012&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 23 nov. 2016.

Received: December 14, 2017

Accepted: March 15, 2018



Management of urban solid waste in municipalities monitored by the 17th Cia PM Ind MAT

Maximiliano Silva Soares¹

Luiz Flávio Reis Fernandes²

Abstract

Established by 12.305/2010 law, the National Solid Waste Policy (PNRS) created mechanisms and established the general guidelines for all public and private entities responsible for solid waste management to perform their activities in an integrated and complementary way. The municipalities, due to their constitutional responsibilities, oversaw most of the expected charges. With the objective of diagnosing the current situation of urban solid waste management in the 72 municipalities located in the area of activity of the 17th Independent Military Police Company for the Environment and Traffic (17^a Cia. PM Ind MAT), the research was carried out through structured questionnaires answered by military environmental police officers and municipal managers. The results indicate that, in most of them, the actions and instruments of the PNRS are not being applied and, in some of these municipalities, final disposal of wastes, even after the legal deadlines, continues being carried out in an environmentally inadequate way.

Keywords: Environmental regulation. Inspection. Environmental police.

Introduction

The National Solid Waste Policy (PNRS), established by 12.305/2010 Law, of August 2nd, 2010, established general guidelines for the management of solid waste throughout the national territory. This law extinguished the historical normative void in Brazil concerning the subject, providing important conceptual innovations by approaching such topics as reverse logistics and social inclusion of waste pickers. In presenting its principles and objectives, the PNRS defined the adoption of sustainable consumption patterns as priorities, stimulating the reuse/recycling of residues and, especially, the environmentally adequate final disposal of tailings (BRASIL, 2010).

Fleck (2016) states that, in Brazil, solid waste management was considered to involve only the contracting of waste collection, sweeping and weeding services, disregarding the destination of the collected waste. Such an archaic and obsolete concept for a long time favoured the existence of dumping grounds and other inadequate forms of final disposal. Besides, it also contributed to lack of encouragement by the government and to the practices of selective waste collection, recycling and composting.

1 Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais (IFSULDEMINAS), pós-graduando em Gestão Ambiental. maximiliano.silva@pmmg.mg.gov.br. Av. João Batista Piffer, n. 2, B. São Cristóvão, Pouso Alegre (MG), 37550-000.

2 Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais (IFSULDEMINAS), docente do curso de pós-graduação em Gestão Ambiental. luiz.flavio@ifsuldeminas.edu.br.

Regarding dumping grounds, it is essential to emphasize this modality of final disposal of urban solid waste (USW) causes significant environmental, sanitary and social impacts. As described by Batista et al. (2010), those impacts include degradation of natural landscape, depreciation of soil quality, contamination of surface and ground water, proliferation of vectors responsible for the transmission of serious diseases; there is also the situation of waste pickers, who, without other income alternatives, end up guaranteeing their subsistence by selling recyclable materials or even feeding on waste found in those places.

This dated concept on USW management was eventually replaced by the management instruments designed by 12.305/2010 Law. It was from this legal framework that, beyond the public power, other important actors came to bear the status of co-responsibility for the management of the solid waste generated, as foreseen in art. 3 of the norm below:

“XVII - shared responsibility for the product life cycle: a set of individualised and concatenated attributions of manufacturers, importers, distributors and traders, consumers and holders of public services of urban cleaning and solid waste handling, to minimise the volume of solid residues and tailings generated as well as to reduce the impacts caused to human health and the environmental quality resulting from the product life cycle, under the terms of this Law;”(BRASIL, 2010).

Although several entities are responsible for the implementation of the PNRS, it is well known the municipalities received most of the attributions required therein. Because of its constitutional competence to “organize and provide public services [...] of local interest [...] of essential character” (BRASIL, 1988) and since 12.305/2010 Law came into force, the municipalities were held responsible for elaborating their integrated solid waste management plan (PGIRS); supporting the development of waste pickers’ cooperatives; implementing measures to reduce tailings sent for final disposal; implementing systems of reverse logistics among others (BEZERRA, A.; BEZERRA, F., 2015).

To fulfil these legal obligations, the PNRS provided for the possibility of passing on budgetary resources to municipalities that elaborated their respective PGIRS, also allowing them to do so through public consortia (BRASIL, 2010). However, the law did not establish mechanisms of technical and methodological support, which, in practice, makes it impossible to draw up the plans for most of the Brazilian municipalities, thus hampering access to sources of public funding for the implementation of the management instruments established by the law (BEZERRA, A.; BEZERRA, F., 2015).

According to the Ministry of the Environment, in 2013, only 33.5% of Brazilian municipalities declared to have a PGIRS under the terms established by PNRS. Two years later, in 2015, this percentage reached 41.7% (BRASIL, 2017), confirming the difficulties faced by municipal managers, as already mentioned.

As Monterosso (2016) points out, management plans are extremely relevant for USW management in municipalities, since, besides advancing the diagnosis of the ongoing situation, they also include possible sustainable medium and long-term solutions for waste treatment and disposal of tailings.

Despite the difficulties faced throughout the country, several actions of state agencies and the private initiative have sought to improve this scenario and to encourage the effective participation of municipalities to implement the guidelines set by the PNRS.

In Minas Gerais, the “Minas sem lixões/Minas without dumps” program, created in 2003 and managed by Fundação Estadual do Meio Ambiente/State Environmental Foundation (FEAM), is a coordinated effort of state government to integrate and foster common solutions, aiming to supporting adequacy to the norms of proper USW management defined by *Conselho Estadual de Política Ambiental* (COPAM)/State Council of Environmental Policy (BRUSCHI, 2011).

According to FEAM (2016), such efforts have not been enough to guarantee full compliance with the measures imposed by the PNRS, as demonstrated by the last situation report on the destination of USW published by the foundation and produced based on the following data:

- i. inspections carried out in 2015;
- ii. data collection from 2001 to 2014, based on the Panorama Report on the destination of urban solid waste in Minas Gerais in 2014 (FEAM, 2015);
- iii. collection of data obtained through the register updating in the ecological ICMS (tax on the circulation of commercial goods and services), environmental sanitation subcriterion;
- iv. collection of data obtained through consultations with the SIAM in relation to the environmental regularisation of the treatment and/or final disposal systems of municipal solid residues, under the responsibility of each municipal administration inserted in the state of Minas Gerais” (FEAM, 2016).

Besides not having management plans and budget resources specifically designed for this purpose, most mining municipalities have little or no concrete action to stimulate and foster the reduction of generation, reuse, recycling and adequate treatment of waste. Likewise, the environmentally appropriate disposal of tailings is still a reality far removed from the daily lives of a considerable part of the state’s population (FEAM, 2016).

In this sense, it is important to highlight there are several possibilities and methods for final waste disposal. For the purposes of analysis and discussion in this research, it will be used the definitions adopted by FEAM in Minas Gerais, which establishes that sanitary landfills and sorting and composting plants (SCP) are environmentally appropriate forms of disposal. Controlled landfills and dumping grounds are classified by FEAM as inadequate forms of final disposal.

The technical definition of landfill refers to the final disposal forms of USW that present the least possible impacts on public health and the environment. In this method, the residues are confined in limited areas and reduced to the lowest allowed volume, always covered by layers of soil after the end of each work.

Sorting and composting plants (usinas de triagem e compostagem - UTC, in Portuguese) are enterprises that separate the residues into three fractions: materials with known recycling potential, organic matter and tailings. After separation, the recyclables are reduced to the smallest possible volume and stored for further commercialization; organic matter goes through composting processes and can be reused for various purposes; tailings are disposed in trenches near the plant or in landfills.

The controlled landfills are final disposal sites that meet only the minimum standards set by FEAM, in order to reduce the impacts caused by the activity. The Foundation’s understanding is that this form of final disposal, although inadequate, is still preferable to dumps.

Dumps are open places for disposal of the USW collected, without any criterion or technical care. FEAM classifies the disposal sites as dumps by assessing criteria such as the presence of waste pickers, non-compliance with the rules that set the minimum frequency of recoating and burning of waste.

In this context, the present research proposes to analyse the conditions of USW management in the municipalities that are part of 17^a Companhia de Polícia Militar Independente de Meio Ambiente e Trânsito/17th Company of the Independent Military Police of the Environment and Traffic (17^a Cia. PM Ind MAT), besides checking information provided to FEAM and the current stage of preparation of the integrated solid waste management plans in those municipalities.

Material and methods

The 17^a Cia PM Ind MAT is a unit of Military Police of Minas Gerais (PMMG), responsible for enforcing the environment legislation in the south of the state. Its mission is to watch over the environment and natural resources, protect the fauna and flora, control of logging and predatory fishing through preventive work and continuous monitoring (MINAS GERAIS, 2016).

Created in 2009, the unit serves seventy-two municipalities and operates in an area of 18,204 km², subdivided into eight fractions of environmental policing located in the following locations: Pouso Alegre, Extrema, Ouro Fino, São Lourenço, Itamonte, Aiuruoca, Itajubá and Paraisópolis. Together, these fractions serve about 1,200,000 (one million, two hundred thousand) inhabitants (IBGE, 2010).

According to IBGE (2010), 72% of these municipalities have an urban population of less than 10,000 inhabitants. They are, therefore, small municipalities, mostly deprived of servers with adequate technical training for the preparation of the PGIRS and for monitoring the implementation of other instruments indicated in the PNRS (MONTEROSSO, 2016). In Figure 1, the area of operation of the unit is shown below:

Figure 1. Map of the area of operation of the 17^a Cia PM Ind MAT



Source: Operational Employment Section - 17^a Cia PM Ind MAT (2017)

In this scenario, the research began by collecting the information available for public consultation on the website of “Minas without dumps” program (<http://www.feam.br/minas-sem-lixoos>). The document Diagnóstico de Consórcios Intermunicipais para a Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos em Minas Gerais/Diagnosis of Intermunicipal Consortia for the Management of Urban Solid Waste in Minas Gerais, published by FEAM, in 2014, containing data collected up to June of that

year, was consulted as well as the USW Management Overview in the State of Minas Gerais in 2015, published in 2016, containing the data collected until the end of the previous year.

From this universe, data were extracted from the sample corresponding to the area of operation of the 17ª Cia. PM Ind MAT, which reaches 72 municipalities that compose the Unit. Then, during the months of April and May 2017, the field survey was carried out through the Unit's environmental policing fraction commanders, who answered structured questionnaires about solid waste management in the municipalities of their districts, via Google forms®.

To that end, military police officers visited the final disposal sites of the USW, when located in their same municipality, and interviewed municipal public managers directly responsible for managing the issue in each city.

Field survey data were compiled at Microsoft Excel® software and, then, processed by the same software. Through those data, a comparison between the information provided by FEAM and those provided by the military environmental officers regarding the final disposal of tailings was conducted, considering the on-site evaluation of the methods used by the municipalities. In addition, we also evaluated the responses of the public managers interviewed in relation to the actions of reduction, recycling and correct disposal of waste fostered by the municipal public power, considering only the positive or negative response regarding the subject, without analysing the efficiency and effectiveness of initiatives identified in the affirmative cases.

Results and discussion

One important point to be mentioned is that this research allowed for greater fidelity of the data collected, since the on-site visits carried out by the environmental police enabled better interaction between the interviewer and the municipal manager responsible for the information provided. In addition, the research also collected and compiled information, hitherto unknown, on the municipalities that send their waste to other states of the federation.

The analysis of the information was subdivided into the following topics: reduction of generation, recycling and proper disposal of waste; integrated solid waste management plans; disposal of waste and public consortia, observing the objectives set by the PNRS.

Reduction of generation, recycling and proper disposal of waste

Law n. 12.305 of 2010 recognized the technical distinction between waste and tailings, conceptualizing waste as residues that cannot possibly be treated or reused and tailings as materials resulting from human activities and which, although having been disposed, can still be recycled or reused under various forms and means (BRASIL, 2010).

For this reason, all actors involved in USW management should keep in mind that the final disposal of tailings, even when done in an environmentally appropriate way, should be perceived as an extreme measure, taking all available means for non-generation and reuse of the residues. The information produced on it during the field survey considered the answers presented by the public managers interviewed and are structured in Table 1, as follows:

Table 1. Public power actions on generation, recycling and disposal of USW

Questions asked	Yes	Freq.	No	Freq.
Are there selective collection programs in operation in the municipality?	26	36.1%	46	63.9%
Are there recycling actions/projects supported/fostered by the government?	28	38.9%	44	61.1%
Are there education/awareness programs for the urban population about the correct destination of the waste generated?	28	38.9%	44	61.1%
Are there educational programs, fostered by the government, aimed to reducing waste generation?	20	27.8%	52	72.2 %

Source: Elaborated by the authors (2017).

In the sample surveyed, most municipalities do not have perennial and effective actions aimed to reducing, reusing and recycling the generated USW. In 61.1% of the cases, the municipality does not independently separate and forward waste for recycling, nor does it support or foster independent initiatives by waste pickers' cooperatives or private companies that seek to do so.

In addition, 63.9% of the cities do not maintain selective collection programs in operation and 61.1% do not adopt educational and population awareness actions to adequately separate the domestic and commercial waste generated.

This number rises to 72.2% when it comes to municipalities that do not adopt any educational program designed to raise awareness of the need to reduce USW generation, avoiding wasted resources and ensuring a reduction in the volume of tailings to be discarded.

Even in the cases of positive responses, when questioned about which are the selective collection programs and actions to promote education and population awareness on the subject, the practical examples cited by the interviewees were limited to indicate the existence of isolated actions of leaflet distribution, occasional funding of logistic resources for associations of waste pickers and educational activities carried out exclusively in the school environment.

Comparing the data collected in the present research with the results of the CICLOSOFT 2016 survey, conducted by the Corporate Commitment for Recycling /Compromisso Empresarial para Reciclagem (CEMPRE), a discrepancy is observed. The CICLOSOFT survey indicates that only 1,055 (18%) Brazilian municipalities maintained selective collection programs active in 2014/2015.

Of this number, 14 municipalities belong to the sample surveyed, representing 53.5% of the urban population served by the 17^a Cia PM Ind MAT, less than the total of 26 municipalities that responded positively to the question asked by environmental policing fraction commanders about the existence of selective collection programs.

Considering that, according to CEMPRE (2016), the methodology of the CICLOSOFT survey consists of data collection through forwarding a questionnaire to the City Halls and making technical visits. As the method used in this study, we noticed the perceptions on the theme differ according to the interviewee's point of view and circumstantial interests.

These results demonstrate the deficiencies of government in fulfilling its obligations to the PNRS. In most of the municipalities studied, the motivations for this scenario are similar and, according to FEAM (2016), encompass the reduced availability of vehicles and workers for the selective collection; the lack of awareness and collaboration of the population; the lack of resources and the training of the workforce, all of which are ultimately linked to poor management and inadequate communication.

Integrated solid waste management plans (PGIRS)

The state of Minas Gerais, through the Normative Deliberation (DN) COPAM 170/2011, established deadlines for the municipalities to register their PGIRS in FEAM. The deadlines were defined according to the population range of the municipalities, being:

- I. urban population greater than 50,000 inhabitants: from 07/30/2012 to 09/26/2012;
- II. urban population between 20,000 and 50,000 inhabitants: from 07/30/2013 to 09/26/2013;
- III. urban population of less than 20,000 inhabitants: from 07/30/2014 to 09/26/2014 (COPAM, 2011).

Even after having the expiring deadlines established, in its last yearly scenario of destination of USW, FEAM (2016) reports that only 146 out of the 853 municipalities of the state were registered in the PGIRS, what corresponds to 17% of all municipalities. From these, 146 registered, 98 (11.5%) were considered effective and 48 (5.60%) still had matters to be settled.

This lack of technical instruments assigned to the proper management of residues is repeated, although in a lower percentage, in the municipalities of the sample surveyed, observing that only 27 (37.5%) of them have PGIRS, an essential condition for accessing public resources intended to implement the PNRS, as discussed above.

Of these 27 municipalities, only 9 (12.5%) reported having sent their plans for registration and validation by FEAM. Other 10 (13.9%) said they did not send them and 8 (11.1%) municipalities do not know whether the plans were sent, demonstrating the difficulties and obstacles in the public administration due to the periodic substitutions of the servers responsible for the management of various topics.

The lack of the PGIRS and the lack of technical knowledge prevent access to important financial resources annually allocated in the public budgets of Federal Government and the Government of the State of Minas Gerais. Those resources could be applied by the municipalities in several actions of implementation of the PNRS, such as the Ecological ICMS.

This information indicates how recurring is the discontinuity of the actions taken by the government for proper management of the solid waste generated in each municipality. There is no sequence of activities, nor transfer of information and knowledge between the government teams when alternating.

Moreover, in many cases, the managers chosen for topics with relevant technical specificities, such as USW management, do not have knowledge and experience enough to properly manage their offices, acting much more as political and electoral agents than as managers.

Final disposal of public rejects and consortia

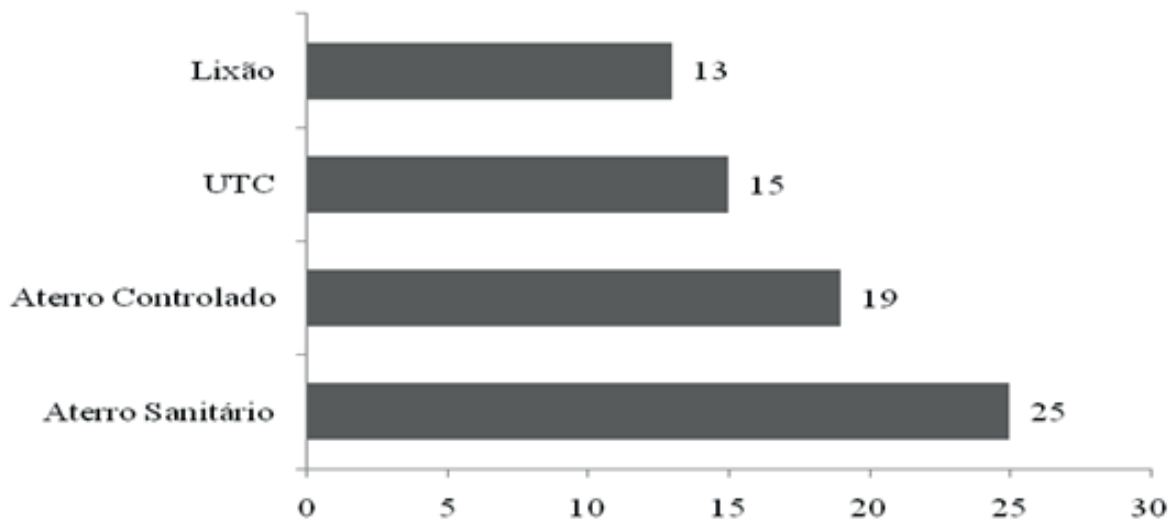
The PNRS set a four-year period for all municipalities to carry out the final disposal of the wastes in an environmentally appropriate manner. According to the regulation, August 2nd, 2014 was the deadline for dumps and other improper forms of disposal to be decommissioned. Besides, the law establishes that after the deadline materials that could be reused, recycled or treated by economically viable technologies (such as recyclable or organic waste) could no longer be sent to the final disposal (BRASIL, 2010).

Even so, there are still several locations where the disposal is carried out in an irregular and environmentally inadequate way. Proposing the extension of the deadlines set by PNRS, the draft bill n. 2.289/2015 continues in process in the National Congress until this date, compromising the bases and principles established with great difficulty when the law was approved (BRASIL, 2015).

Although the PNRS only determines the final disposal of residues, the absence of selective collection programs and waste treatment and recycling actions in most of the municipalities surveyed indicates that when it comes to this issue, we are, in fact, facing the final disposal of all USWs collected by the municipality, which is why this research will refer to the disposal of USW in this topic.

In order to classify and interpret the data collected, the final USW disposal practices utilized by the municipalities were determined according to the definition used by FEAM in Minas Gerais. Based on these criteria, the field research produced the following data, exposed in Graphic 1, as follows:

Graphic 1. Final disposal of USW by the municipalities of the sample.



Source: Elaborated by the authors (2017).

The studied municipalities that dispose their USW in an environmentally adequate manner correspond to 56% in total, distributed among sanitary landfills (35%) and sorting and composting plants (21%). The other ones are equal to 44% and they conduct the final disposal in improper conditions, which are harmful to the environment and public health.

In total, 40 municipalities dispose their USW properly. Of these, 29 (72.5%) do so through public consortia, a mutual support mechanism adopted by PNRS as a viable alternative to minimizing the difficulties faced by small municipalities in USW management (FEAM, 2014).

In the field of USW management, this has been shown as a viable alternative in view of the potential gain of technical sustainability of this type of solution, especially for smaller municipalities. For this reason, the national and state solid waste management policies seek through tax benefits and easy access to budgetary resources to stimulate the creation of these consortia.

The data produced indicate that in the area of activity of the 17^a Cia PM Ind MAT this has been the option chosen by most municipalities committed to comply with the recommendations of the PNRS, ensuring the final disposal of the USW occurs under technical and financial conditions that are compatible with the local reality.

The association through alliances to fix common problems reduces operational costs and guarantees qualified technicians for the management of the activities established in PNRS. Such measure needs to be expanded and refined to achieve all the management rules and mechanisms established by the law.

Therefore, unlike the other mechanisms proposed by PNRS, when it comes to the final disposal of USW, most of the cities surveyed adopt sustainable and environmentally adequate practices. In this sense, the research also proposed to compare its own results with the last state-wide panorama released by FEAM. In order to do so, Table 2 presents the data compared, as follows:

Table 2. Comparison of the information available on final disposal of USW.

Municipality	Data FEAM 2016	Research Data	Location of disposal / final disposal
Aiuruoca	Dumps	UTC	Seritinga
Alagoa	Controlled landfill	UTC	
Albertina	Dumps	Sanitary landfill	Andradas
Baependi	Controlled landfill	Controlled landfill	
Bocaina de Minas	Sanitary landfill	UTC	
Bom Repouso	Dumps	Dumps	
Borda da Mata	Controlled landfill	Sanitary landfill	Pouso Alegre
Brasópolis	Sanitary landfill	Sanitary landfill	Itajubá
Bueno Brandão	Controlled landfill	Controlled landfill	
Cachoeira de Minas	Sanitary landfill	Sanitary landfill	Itajubá
Camanducaia	Sanitary landfill	Sanitary landfill	Pouso Alegre
Cambuí	Controlled landfill	Controlled landfill	
Careaçu	Out of the state	Sanitary landfill	Pouso Alegre
Carmo de Minas	Dumps	Dumps	
Carvalhos	Out of the state	UTC	
Caxambu	Dumps	Controlled landfill	
Conceição das Pedras	Controlled landfill	Controlled landfill	
Conceição dos Ouros	Controlled landfill	Sanitary landfill	Pouso Alegre
Congonhal	Controlled landfill	Sanitary landfill	Pouso Alegre
Consolação	Controlled landfill	Controlled landfill	
Cordislândia	Controlled landfill	Dumping ground	
Córrego do Bom Jesus	UTC	Sanitary landfill	Pouso Alegre
Cristina	Controlled landfill	Controlled landfill	
Cruzília	Out of the state	Sanitary landfill	
Delfim Moreira	Sanitary landfill	Sanitary landfill	Itajubá
Dom Viçoso	Controlled landfill	Controlled landfill	
Espírito Santo do Dourado	Controlled landfill	Controlled landfill	
Estiva	Dumps	Dumps	
Extrema	Sanitary landfill	Sanitary landfill	
Gonçalves	UTC	UTC	Paraisópolis
Heliódora	Dumps	Dumps	
Inconfidentes	Dumps	Dumps	

Municipality	Data FEAM 2016	Research Data	Location of disposal / final disposal
Itajubá	Sanitary landfill	Sanitary landfill	Itajubá
Itamonte	Sanitary Landfill + UTC	UTC	
Itanhandu	UTC	Controlled landfill	
Itapeva	Controlled landfill	UTC	Pouso Alegre
Jacutinga	Dumps	Dumps	
Liberdade	Controlled landfill	UTC	
Maria da Fé	Sanitary landfill	Sanitary landfill	Itajubá
Marmelópolis	Sanitary landfill	Sanitary landfill	Itajubá
Minduri	Out of the state	Controlled landfill	
Monte Sião	Dumps	Controlled landfill	
Munhoz	Controlled landfill	Controlled landfill	
Natércia	Dumps	UTC	Pouso Alegre
Ouro Fino	Dumps	Controlled landfill	
Paraisópolis	UTC	UTC	Paraisópolis
Passa Quatro	Out of the state	Sanitary landfill	Cachoeira Paulista / SP
Passa Vinte	Out of the state	Sanitary landfill	
Pedralva	UTC	UTC	
Piranguçu	Sanitary landfill	Sanitary landfill	Itajubá
Piranguinho	Sanitary landfill	Sanitary landfill	Itajubá
Pouso Alegre	Sanitary landfill	Sanitary landfill	Pouso Alegre
Pouso Alto	Dumps	Dumps	
Santa Rita do Sapucaí	Controlled landfill	Sanitary landfill	Itajubá
São Gonçalo do Sapucaí	Dumps	Dumps	
São João da Mata	Dumps	Dumps	
São José do Alegre	Sanitary landfill	Sanitary landfill	Itajubá
São Lourenço	Dumps	Dumps	
São Sebastião da Bela Vista	Controlled landfill	Sanitary landfill	Pouso Alegre
São Sebastião do Rio Verde	UTC	Controlled landfill	
Sapucaí Mirim	Out of the state	Sanitary landfill	Tremembé/SP
Senador Amaral	Dumps	Dumps	
Senador José Bento	Controlled landfill	Controlled landfill	
Seritinga	Dumps	UTC	Seritinga
Serranos	Controlled landfill	UTC	Seritinga
Silvianópolis	UTC	UTC	
Soledade de Minas	Controlled landfill	Controlled landfill	
Tocos do Mogi	Dumps	Sanitary landfill	Pouso Alegre
Toledo	Controlled landfill	Controlled landfill	
Turvolândia	UTC	UTC	
Virgínia	Controlled landfill	Dumps	
Wenceslau Brás	Sanitary landfill	Sanitary landfill	Itajubá

Source: Elaborated by the authors with information from FEAM (2016).

According to data provided by FEAM, in 2015, only 23 (32%) of the 72 municipalities in the area of coverage of the 17^a Cia PM Ind MAT disposed of their USW properly. The other municipalities disposed of the waste in dumps and controlled landfills or sent them out of the state, providing no information regarding the method of disposition employed in those cases.

This research showed this panorama has changed over time and, currently, 40 (56%) municipalities of the sample dispose of their USW in an environmentally correct way. However, it is important to highlight the improvement of the final disposal methods, when not adopted jointly with the other instruments of the PNRS, contributes little to the advances regarding the treatment of USW. The research shows that is the case in most municipalities evaluated, which do not promote or stimulate any initiatives to reduce generation or to foster recycling and reuse.

In this sense, the research also indicated that 59.8% of the urban population in the area of operation of the 17^a Cia PM Ind MAT is served by final disposal methods environmentally adequate for the USW generated. The data show a situation very similar to the one identified in the rest of the state of Minas Gerais, where, according to FEAM (2016), 57.7% of people living in urban centres are served in the same way.

Conclusion

This study aimed to analysing the conditions of USW management in the municipalities that are part of the region served by the 17^a Cia PM Ind MAT as well as verifying the accuracy of the information provided to FEAM and the current stage in the preparation of integrated solid waste management plans in these municipalities.

Despite the improvement identified in the final disposal methods, it is necessary to recognise the PNRS forecast on the subject has not been minimally met, since in order to dispose of tailings only in an environmentally adequate manner, the municipality must have a good solid waste management system, including selective collection and treatment of organic waste, sending the smallest volume to the sanitary landfill.

Furthermore, measures of social inclusion and promotion of citizenship through fostering of cooperatives of recyclable waste pickers are practices that are not applied or are of limited continuity in the municipalities surveyed, in which most of the managers indicated there were no recycling actions or projects supported or fostered by the public power.

In the study, it was also verified the data provided by the state of Minas Gerais do not coincide entirely with the situational reality observed in the municipalities of the sample surveyed. As it turned out, there were three reasons for this discrepancy: a) the frame time since the last survey carried out by FEAM, the last public consultation available refers to the information collected in 2015; b) misinformation provided by public entities; c) divergences on interpretation from the municipal body and environmental police regarding the effectiveness and efficiency of the actions implemented to comply with the principles of PNRS.

Finally, it is pointed out this reality indicates the theme is not treated with the priority it deserves. In addition, there is little chance the situation will improve in the near future, since education and population awareness programs are practically non-existent in the municipalities of the sample. The reversal of this scenario will necessarily depend on the effective involvement of the various entities and bodies responsible for the efficiency of the processes and the effectiveness of USW management.

Gestão de resíduos sólidos urbanos nos municípios componentes da 17ª Cia PM Ind MAT

Resumo

Instituída por meio da Lei n. 12.305/2010, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) criou mecanismos e estabeleceu as diretrizes gerais para que todos os entes, públicos e privados, responsáveis pela gestão de resíduos sólidos desempenhassem suas atividades de maneira integrada e complementar. Aos municípios, em razão de suas atribuições constitucionais, coube a maior parte dos encargos previstos. Com o objetivo de diagnosticar a situação atual da gestão de resíduos sólidos urbanos (RSU) nos 72 municípios situados na área de atuação da 17ª Companhia de Polícia Militar Independente de Meio Ambiente e Trânsito (Cia PM Ind MAT), a pesquisa foi realizada por meio de questionários estruturados respondidos por policiais militares de meio ambiente em conjunto com gestores municipais. Os resultados indicam que, na maior parte deles, as ações e os instrumentos da PNRS não estão sendo aplicados e, em uma parte desses municípios, a disposição final dos rejeitos, mesmo depois de exauridos os prazos legais, continua sendo realizada de maneira ambientalmente inadequada.

Palavras-chave: Regularização ambiental. Fiscalização. Polícia de Meio Ambiente.

References

BATISTA, D. M. B.; SILVA, J. M. N.; SOUSA, E. F.; DO-Ó, L. G. D.; BARBOSA, E. A. O uso do método da listagem de controle na identificação de impactos ambientais: o caso do lixão de uma cidade de médio porte. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 30., 2010. São Carlos-SP. **Anais...** São Carlos, 2010. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2010_tn_stp_121_785_15703.pdf. Acesso em: 21 nov. 2017.

BEZERRA, F. C. B.; BEZERRA, A. K. L. Política Nacional de Resíduos Sólidos e as dificuldades de municípios pequenos. **Revista Jus Navigandi**, Teresina, ano 20, n. 4508, 4 nov. 2015. Disponível em: <https://jus.com.br/artigos/43851>. Acesso em: 3 abr. 2017.

BRASIL. **Constituição Federal da República Federativa do Brasil**: promulgada em 5 de outubro de 1988. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao.htm. Acesso em: 29 mar. 2017.

BRASIL. **Lei 12.305 de 02 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília: 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 29 mar. 2017.

BRASIL. Câmara dos Deputados. **Projeto de Lei PL nº 2289/2015**. Prorroga o prazo para a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos de que trata o art. 54 da Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Disponível em: <http://www.camara.gov.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=1555331>. Acesso em: 10 nov. 2017.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Sistema nacional de informações sobre a gestão de resíduos sólidos (SINIR)**. Disponível em: <http://sinir.gov.br/web/guest/2.5-planos-municipais-de-gestao-integrada-de-residuos-solidos>. Acesso em: 30 nov. 2017.

BRUSCHI, D. M. **Análise do programa Minas sem lixões: contribuição à gestão de resíduos sólidos urbanos em Minas Gerais, 2003 - 2010**. 331 f. Dissertação (Mestrado em Sustentabilidade) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2011. Disponível em: <http://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/2907>. Acesso em: 21 nov. 2017.

COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM (CEMPRE). **Pesquisa CICLOSOFT 2016: radiografando a coleta seletiva**. Disponível em: <http://cempre.org.br/ciclosoft/id/8>. Acesso em: 10 nov. 2017.

CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL (COPAM). **Deliberação Normativa COPAM 170, de 03 de outubro de 2011**. Belo Horizonte: FEAM, 2011. p. 1-2.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (FEAM). **Diagnóstico de Consórcios Intermunicipais para a Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos em Minas Gerais**. Belo Horizonte: FEAM, 2014. p. 12-43.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (FEAM). **Panorama da destinação dos resíduos sólidos urbanos no Estado de Minas Gerais em 2015**. Belo Horizonte: FEAM, 2016. p. 42-68.

FLECK, E. A elaboração dos planos de gestão integrada de resíduos sólidos em grandes cidades: o caso de Porto Alegre, RS. In: AMARO, A. B.; VERDUM, R. (orgs.). **Política Nacional de Resíduos Sólidos e suas interfaces com o espaço geográfico: entre conquistas e desafios**. Porto Alegre: Editora Letra 1, 2016. p. 71-80.

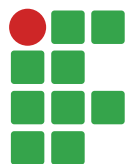
INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Demográfico 2010**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010.shtm>. Acesso em: 20 abr. 2017.

MINAS GERAIS. Polícia Militar. **Diretriz para Produção de Serviços de Segurança Pública nº 3.01.01/2016-CG**: regula o emprego operacional da Polícia Militar de Minas Gerais. Belo Horizonte: 2016. p. 56-71.

MONTEROSSO, E. P. Política nacional de resíduos sólidos: o olhar crítico de um gestor público. In: AMARO, A. B.; VERDUM, R. (Orgs.). **Política Nacional de Resíduos Sólidos e suas interfaces com o espaço geográfico: entre conquistas e desafios**. Porto Alegre: Editora Letra1, 2016. p. 22-30.

Received: December 15, 2017

Accepted: March 15, 2018



NPK Fertilization at Planting for *Physalis* (*Physalis peruviana* L.)

César Ferreira Santos¹

Geann Costa Dias²

Sheila Isabel do Carmo Pinto³

Paulino da Cunha Leite⁴

Konrad Passos e Silva⁵

Abstract

Physalis peruviana L. (Solanaceae) is an Andean shrub species that produces sugary fruits. The cultivation of this species is recent, thus, aspects related to soil fertilization for it still need to be studied. The objective of this work was to define the rates of NPK fertilizer applied at planting that meet the requirements of physalis crops. The experiment was conducted at Institute Federal of Minas Gerais (IFMG), *Campus* Bambuí, from February 25 to November 23, 2015. A completely randomized design was used, with 8 treatments and 6 replications, totaling 48 experimental units. The treatments consisted of N, P₂O₅, and K₂O rates (kg ha⁻¹), using urea (45% N), monoammonium phosphate (9% N and 44% P₂O₅), and potassium chloride (58% of K₂O). Morphological and bromatological characteristics and fruit production were evaluated. Data were subjected to analysis of variance and the means grouped by the Scott-Knott test at 5% probability. The NPK rate that generates the higher fruit production and greater savings is 1200 mg dm⁻³ of N, 3600 mg dm⁻³ of P₂O₅, and 2400 mg dm⁻³ of K₂O, and the NPK rate that results in greater morphological development is 1600 mg dm⁻³ of N, 4800 mg dm⁻³ of P₂O₅, and 3200 mg dm⁻³ of K₂O.

Keywords: Cape gooseberry. Mineral nutrition of plants. Soil fertility. Production.

Introduction

Physalis peruviana L. (Solanaceae) is the most known species of the genus. The center of its origin is not known yet, however most studies indicate that it is from the Andes (RUFATO et al., 2008). This species is a perennial shrub plant that produces a small orange fruit enclosed in a calyx formed by five sepals that protects it against insects, birds, pathogens, and adverse weather conditions.

The improvement of the development and productivity of a plant requires meeting its nutritional requirements. According to Fischer et al. (2005), the ideal soil for *Physalis* is a well-drained sandy

1 Universidade Federal de Lavras (UFLA), doutorando em Ciência do Solo, agronomocesar.santos@gmail.com, Departamento de Ciência do Solo, Caixa Postal 3037, Lavras/MG, Brasil, CEP: 37200-000.

2 Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG) - *Campus* Bambuí, graduado em Agronomia, geannndias93@hotmail.com.

3 IFMG - *Campus* Bambuí, professora EBTT, sheila.isabel@ifmg.edu.br.

4 IFMG - *Campus* Bambuí, professor EBTT, paulino.leite@ifmg.edu.br.

5 IFMG - *Campus* Bambuí, técnico em Agropecuária, konrad.silva@ifmg.edu.br.

clay soil, which presents more granular texture, preferably with high organic matter contents (greater than 4 %) and pH between 5.5 and 6.8.

The cultivation of this species is recent, thus, most aspects for this crop production still needs to be studied and developed, especially those related to soil fertilization (RUFATO et al., 2008).

Physalis crops do not have a defined fertilizer recommendation rate that considers its nutritional requirements. The studies available in the literature on management of this crop have been developed using fertilizer rates recommended for other species of the Solanaceae family due to the lack of specific fertilization recommendation. In the south region of Brazil, fertilization for *Physalis* follows what is recommended for tomato crops (IANCKIEVICZ et al., 2013; LIMA, 2009). Fertilization recommendations for *Physalis* are mostly regional and do not serve as a base for application in all countries, generating unsatisfactory nutritional outcomes, resulting in low yields and poor quality fruits.

Nitrogen is the most important macronutrient for *Physalis* crops; it promotes longitudinal growth of branches and production of fruits. Potassium is related to flowering and fruit formation. Calcium is important for tissue formation and stability of epidermis, especially during the calyx formation. Boron is the most required micronutrient for *Physalis* crops (RUFATO et al., 2012).

Recommendation of fertilizers for this crop without defined criteria is common due to the lack of information in the scientific literature and dissemination of existing works. In Colombia, for example, it is recommended to apply 1 to 2 kg of poultry litter at planting and 100 to 150 kg of NPK fertilizer 10-30-10 or triple superphosphate per hectare every 3 to 4 months (RUFATO et al., 2012).

In this context, the objective of this work was to define the rates of NPK fertilizer applied at planting that meet the requirements of *Physalis* plants and improve their morphological development and fruit yield.

Material and methods

Location of the experimental area

The experiment was conducted on a farm (Varginha Farm) of the Federal Institute of Education, Science, and Technology of Minas Gerais (IFMG), in Bambuí, state of Minas Gerais, Brazil (20°01'51.9"S; 46°00'26.66"W, and altitude of 673 m). A greenhouse in the nursery sector of the farm was used, with constantly ventilation, intermittent misting at a frequency of irrigation of 7 minutes from 7h30 am to 5h30 pm, temperature of 15 to 38 °C, and relative humidity of 80 % to 90 % during the rooting stage. After transplanting, the temperature was the same and the relative humidity was 70 to 80 %.

Seeds were planted in a commercial substrate (Bioplant®) in a 200-cell expanded polystyrene tray. The seeds emerged 8 days after planting and presented 90 % germination. The seedlings were grown in the tray until they are suitable to be transplanted, which takes 70 days after sowing.

Seedlings were transplanted to a soil that was collected in subsurface, which was classified as Dystroferric RED LATOSOL (Oxisol) of clay texture (BRAZILIAN AGRICULTURAL COMPANY - EMBRAPA, 2013), whose chemical analysis is shown in Table 1.

Table 1. Chemical and physical attributes of the soil used for the transplanting of *Physalis peruviana* L. seedlings

Attribute	
pH (H ₂ O)	5.1
P ⁽¹⁾	1.4 mg dm ⁻³
K ⁽¹⁾	47.0 mg dm ⁻³
Ca ⁽²⁾	0.58 cmol _c dm ⁻³
Mg ⁽²⁾	0.49 cmol _c dm ⁻³
Al ⁽²⁾	2.50 cmol _c dm ⁻³
H + Al ⁽³⁾	7.07 cmol _c dm ⁻³
SB	1.2 cmol _c dm ⁻³
t	3.7 cmol _c dm ⁻³
T	14.4 cmol _c dm ⁻³
Sand	16 dag kg
Silt	37.5 dag kg ⁻¹
Clay	46.5 dag kg ⁻¹
V	14.4 %
m	67.8 %
OM	0.10 dag kg ⁻¹
P (rem)	1.9 mg L ⁻¹
B ⁽⁴⁾	0.03 mg dm ⁻³
Cu ⁽¹⁾	0.30 mg dm ⁻³
Fe ⁽¹⁾	17.70 mg dm ⁻³
Mn ⁽¹⁾	2.60 mg dm ⁻³
Zn ⁽¹⁾	0.10 mg dm ⁻³
S ⁽⁵⁾	3.13 mg dm ⁻³

⁽¹⁾Mehlich Extractor; ⁽²⁾KCl extractor 1 mol L⁻¹; ⁽³⁾SMP Extractor; ⁽⁴⁾Hot water extractor; ⁽⁵⁾Monocalcium phosphate extractor in acetic acid; SB = Sum of Exchangeable Bases; CEC (t) = Effective Cation Exchange Capability; CEC (T) = Cation exchange capacity at pH 7.0; V = Base saturation index; m = aluminum saturation; OM = organic matter (Oxidation Na₂Cr₂O₇ 4N+H₂SO₄ 10Nv); P (rem) = Remaining phosphorus.

Source: Elaborated by the authors (2016).

Dolomitic limestone (7500 mg dm⁻³) was applied at approximately 90 days before transplanting to increase soil base saturation to 70 %. Then, the soil was incubated for 90 days, maintaining humidity at 70 % of the field capacity.

The *Physalis* seedlings were transplanted at 70 days after sowing. The soil was placed in a plastic tray and mixed with fertilizers according to each treatment, homogenized, and transferred to plastic pots. The pots were coated with two plastic bags to avoid nutrient loss. Seedlings were transplanted to the pots, keeping one seedling per pot. Irrigation was performed to maintain the soil at 70 % of field capacity.

After the plants reached a height of 40 cm, they were trellised using wire to improve their development. Weeds in the pots during the experiment were controlled by manual weeding. The fertilizer sources used were: urea (45% N), monoammonium phosphate (MAP) (9% N and 44% P₂O₅), and potassium chloride (58% K₂O) at different rates (TABLE 2).

Table 2. N, P₂O₅, and K₂O rates used in the experimental treatments for *Physalis peruviana* L. plants

Treatment	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
	----- mg dm ⁻³ -----		
T1	400	800	640
T2	600	1200	960
T3	480	2400	800
T4	800	2400	1600
T5	1200	3600	2400
T6	760	1680	1400
T7	1600	4800	3200
T8	0	0	0

Source: Elaborated by the authors (2016).

Variables evaluated

Physalis plants were evaluated for the effect of the NPK rates on their morphological development and productivity. The evaluations began at 90 days after transplanting of the seedlings by measuring plant height and stem base diameter, with measurements performed every 15 days. Plant height was measured from the soil surface to the apex of the highest branch, and stem base diameter was measured near to the soil surface using a digital caliper.

The fruits that reached the maximum physiological maturation during the experiment were collected, counted and separated from the calyx to evaluate the calyx, fruit, and the total weights (fruit plus calyx), using an analytical balance. Fruit diameter perpendicular to the peduncle was also measured using a digital caliper. Subsequently, the fruits were stored under refrigeration to determine their °Brix. The °Brix was measured in the four biggest ripe fruits in the apex of the plants in each plot, using a portable sugar refractometer (RT-30 ATC, Instrutherm); two drops of the fruit juice were placed on the refractometer prism.

The seedlings were cut near the soil at 198 days after transplanting and separated into root and shoot. The roots were washed and dried at room temperature. The plant parts were placed in paper bags, dried in an oven at 70 °C until constant weight, and weighed using an analytical balance to evaluate their shoot, root, and total dry weights, and shoot to root dry weight ratio.

The total fruit yield of the *Physalis* plants was determined by the weight of all the fruits of each plot during the experiment period.

The data were subjected to analysis of variance and the means grouped by the Scott-Knott test at 5 % probability level. The analyses were performed using the Sisvar program (FERREIRA, 2011).

Results and discussion

The NPK fertilizer rates affected the plant development in all evaluations ($p < 0.05$) (TABLE 3).

Table 3. Analysis of variance for height (cm) of *Physalis peruviana L.* plants as a function of NPK fertilizer rates applied at planting, measured biweekly

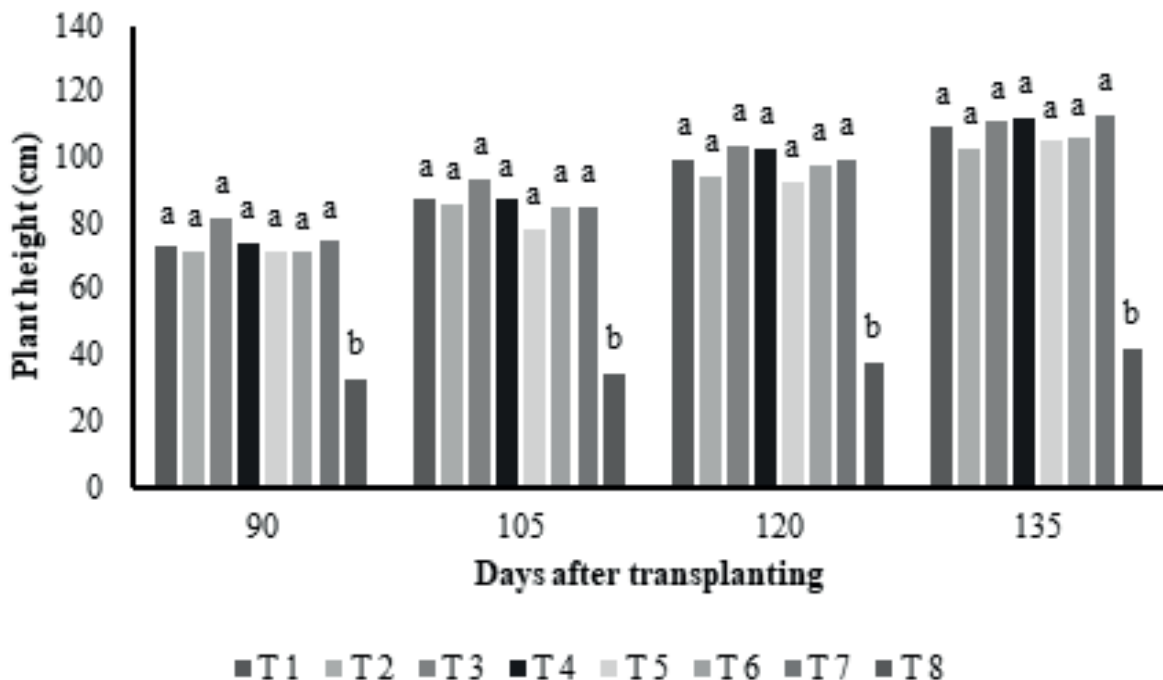
Source of variation	90 days	105 days	120 days	135 days
NPK fertilization	0.0000*	0.0000*	0.0000*	0.0000*
CV (%)	14.95	13.21	12.49	12.11
Mean	68.56	79.46	90.89	99.89
Source of variation	150 days	165 days	180 days	195 days
NPK fertilization	0.0000*	0.0000*	0.0000*	0.0000*
CV (%)	13.66	13.35	14.56	14.55
Mean	105.48	108.28	110.11	112.92

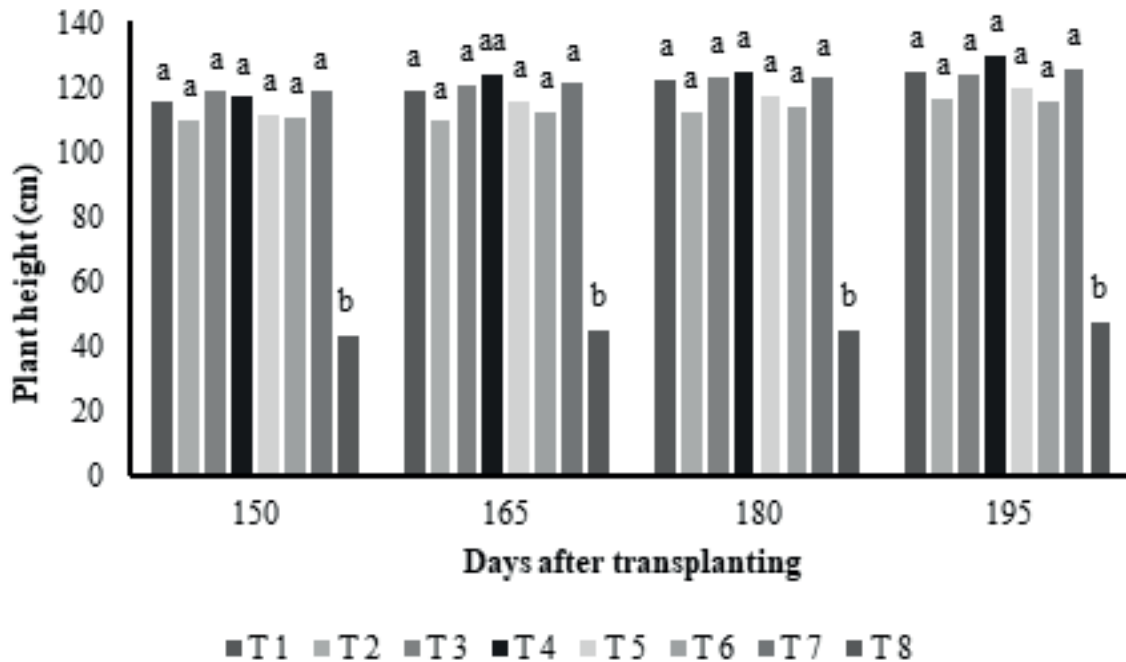
* = significant by the F test at 5% probability. CV: Coefficient of variation.

Source: Elaborated by the authors (2016).

Physalis plants grown without fertilization at planting presented lower height, regardless of the evaluation time (FIGURE 1). The heights of plants in treatments with NPK were similar, denoting this species has low fertilizer requirements for vegetative development; even the lowest applied rate (T1) promoted similar growth in height to the highest rate (T7) (FIGURE 1).

Figure 1. Growth in height of *Physalis peruviana L.* plants as a function of NPK rates (T) applied at the transplanting of the seedlings. Means of bars with the same letter in each evaluation time are similar by the Scott-Knott test at the 5 % probability level.





Source: Elaborated by the authors (2016).

Briguenti and Madeira (2007) reported heights of *P. peruviana* plants of 1.00 to 1.50 m when subjecting them to different fertilizer rates; plant heights found in the present study were similar (1.15 to 1.29 m). These heights do not correspond to the lowest and highest applied fertilizer rates, respectively, denoting that very high rates can reduce plant growth.

The stem base diameters of the *Physalis* plants were different ($p < 0.05$), according to the fertilizer rates (TABLE 4).

Table 4. Analysis of variance for the stem base diameter (mm) of *Physalis peruviana* L. plants as a function of NPK fertilizer rates applied at planting, measured biweekly

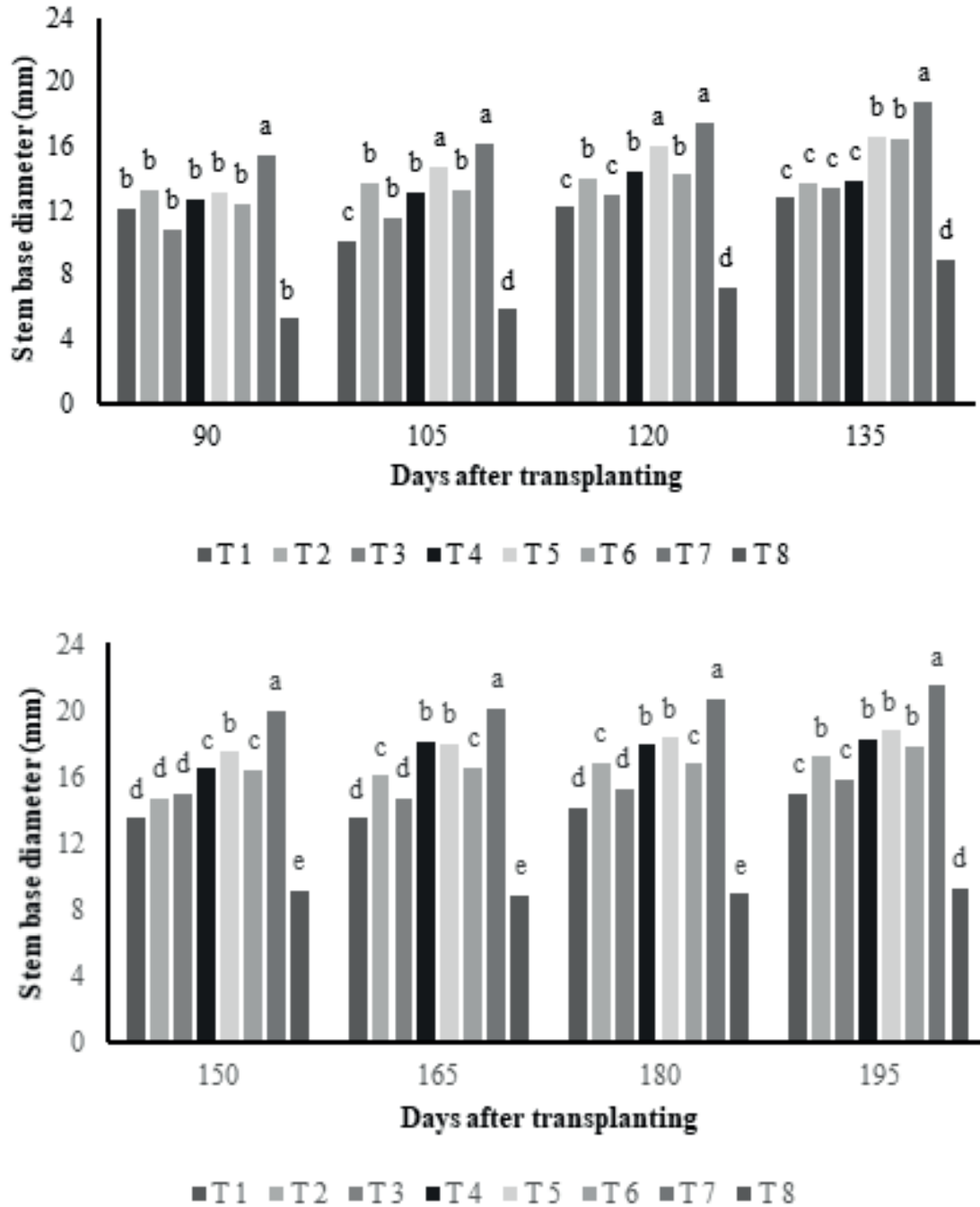
Source of variation	90 days	105 days	120 days	135 days
NPK fertilization	0.0000*	0.0000*	0.0000*	0.0000*
CV (%)	17.72	14.72	11.34	10.53
Mean	11.88	12.27	13.53	14.29
Source of variation	150 days	165 days	180 days	195 days
NPK fertilization	0.0000*	0.0000*	0.0000*	0.0000*
CV (%)	10.76	9.19	8.96	8.64
Mean	15.33	15.71	16.10	16.68

*: significant by the F test at 5% probability. CV: Coefficient of variation.

Source: Elaborated by the authors (2016).

Figure 2 shows the stem base diameters of *Physalis* plants as a function of NPK fertilizer rates applied at planting.

Figure 2. Stem base diameter of *Physalis peruviana* L. plants as a function of NPK fertilizer rates (T) applied at transplanting of the seedlings. Means of bars with the same letter in each evaluation time are similar by the Scott-Knott test at 5 % probability level.



Source: Elaborated by the authors (2016).

The T7 treatment presented plants with the largest stem base diameters, regardless the evaluation time, except for the evaluations at 105 and 120 days, when T5 also presented plants with large stem base diameters (FIGURE 2). Therefore, this diameter is responsive to NPK fertilization, presenting larger means when the plants were treated with the highest NPK rate (T7).

The calyx, fruit, and total weights of the plants were different according to the applied NPK rates (TABLE 5).

Table 5. Analysis of variance for mean calyx weight (g), mean fruit weight (g), mean total fruit weight (calyx plus fruit) (g), and mean fruit diameter (mm) of *Physalis peruviana* L. plants as a function of NPK fertilizer rates applied at planting

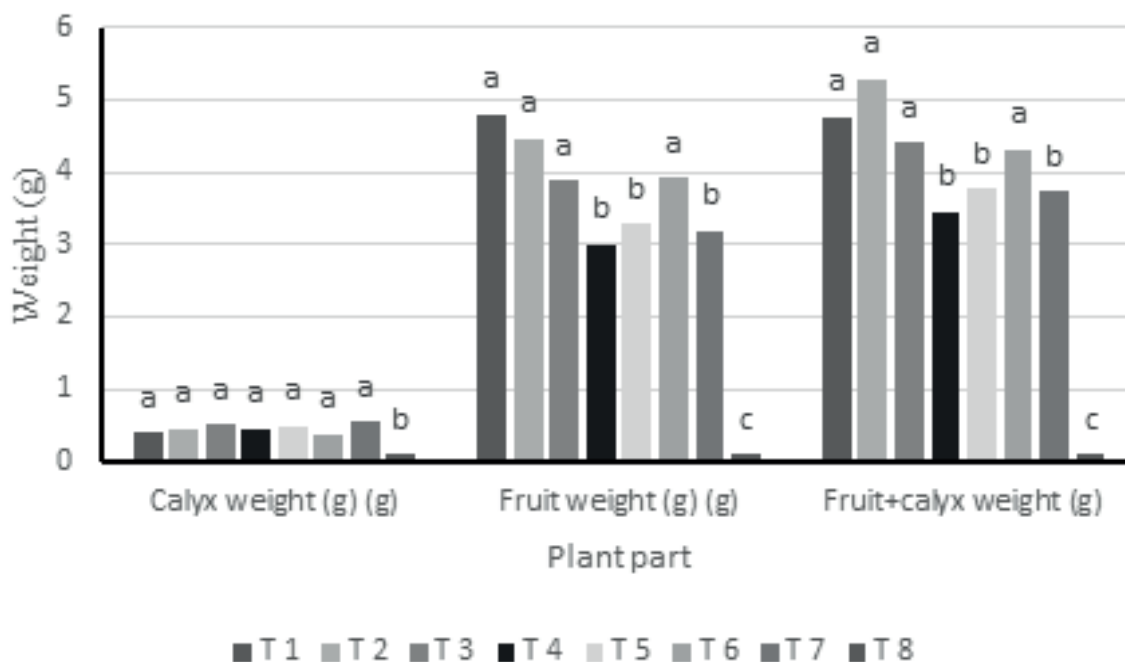
Source of variation	Calyx	Fruit	Total	Fruit diameter
NPK fertilization	0.0000*	0.0000*	0.0000*	0.0000*
CV (%)	24.52	25.12	22.17	11.66
Mean	0.40	3.31	3.71	15.38

*: significant by the F test at 5 % probability. CV: Coefficient of variation.

Source: Elaborated by the authors (2016).

Physalis plants grown without NPK fertilization at planting had lower calyx weights, and those grown with NPK fertilization presented similar calyx weights, denoting that this variable is not affected by the applied fertilizer rate, since the N, P₂O₅, and K₂O combinations did not alter it, and the lowest rate was sufficient for increasing the calyx weight (FIGURE 3).

Figure 3. Calyx, fruit, and total fruit (fruit plus calyx) weights of *Physalis peruviana* L. as a function of NPK rates applied at the transplanting of the plants. Means of bars with the same letter in each evaluation time are similar by the Scott-Knott test at the 5 % probability level.



Source: Elaborated by the authors (2016).

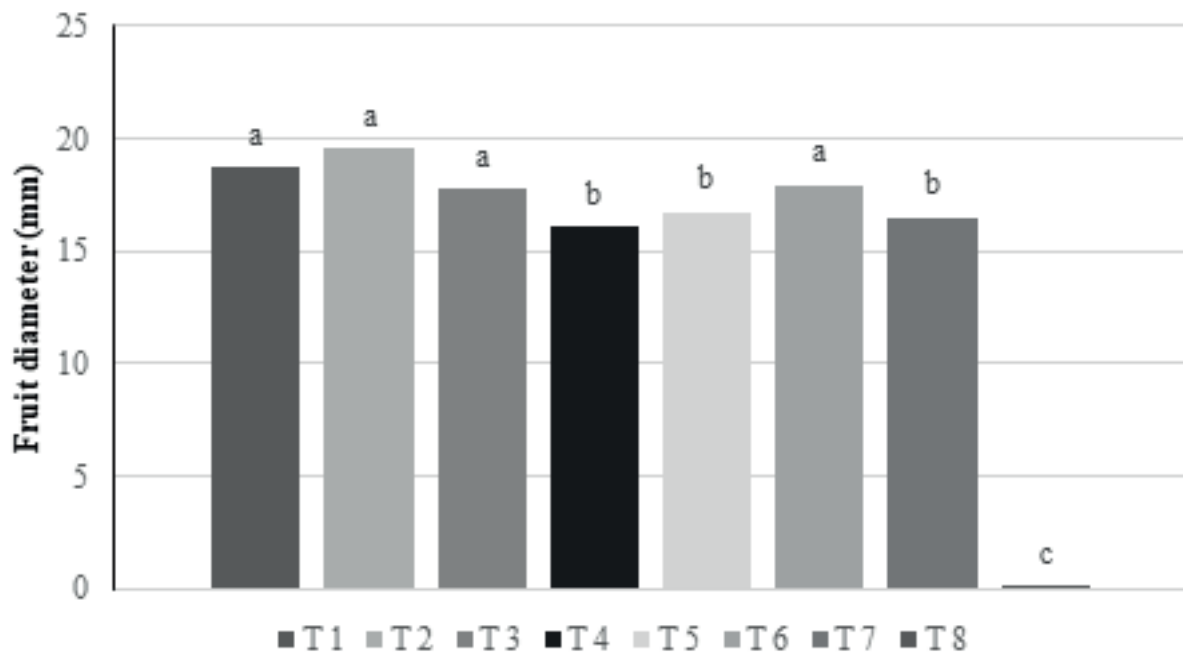
The T1 treatment promoted the greatest increase in fruit weight, but it was similar to T2, T3, and T6. The lowest fruit weights were found in the T4, T5, and T7 treatments, which may be due to the saline effect caused by the potassium chloride applied, since the other nutrients had no effect on this variable, even at high rates.

Regardless of the applied NPK rate, the mean fruit weights found were higher than those obtained by Thomé and Osaki (2010); they evaluated three *Physalis* species subjected to NPK fertilizer application in the state of Paraná, Brazil, and found an average fruit weight of less than 1.8 g for *Physalis peruviana*, and an increase in the fruit yield with increasing NPK rates in a study.

The total fruit weight (fruit plus calyx) presented similar results to fruit weight, with no significant difference between the means.

The mean fruit diameter was significantly affected by the treatments (TABLE 5, FIGURE 4).

Figure 4. Diameter of fruits of *Physalis peruviana* L. as a function of NPK fertilizer rates applied at transplanting of the plants. Means of bars with the same letter in each evaluation time are similar by the Scott-Knott test at the 5 % probability level.



Source: Elaborated by the authors (2016).

Similar to fruit weight and total fruit (calyx plus fruit) weight, fruit diameter was affected by the NPK rates. The different fruit diameter of the treatments can also be attributed to the higher potassium rates due to the high saline power of Cl^- , which can damage the plants when applied at high rates.

The shoot, root, and total dry weights and the shoot to root dry weight ratio of the plants of *Physalis* plants showed differences according to the NPK fertilizer rates applied at planting (TABLE 6).

Table 6. Analysis of variance for shoot (g), root (g), and total (g) dry weights, and shoot to root dry weight ratio of *Physalis peruviana* L. plants as a function of NPK fertilizer rates applied at planting

Source of variation	Shoot	Root	Total	Shoot/Root
NPK fertilization	0.0000*	0.0000*	0.0000*	0.0000*
CV (%)	22.88	32.98	21.54	27.96
Mean	39.88	20.16	60.05	1.89

*significant by the F test at 5 % probability. CV: Coefficient of variation.

Source: Elaborated by the authors (2016).

Plants in T7 had higher shoot and total dry weights than those of the other treatments (TABLE 7). According to Parra et al. (2014), the rates of 300 kg ha⁻¹ of urea, 150 kg ha⁻¹ of triple superphosphate, and 300 kg ha⁻¹ of potassium chloride result in the highest plant height, dry weight, and NPK absorption. In the present work, the highest dry weight was found when using 1600 mg dm⁻³ of N, 4800 mg dm⁻³ P₂O₅, and 3200 mg dm⁻³ of K₂O, corresponding to 400 kg ha⁻¹ N, 1200 kg ha⁻¹ P₂O₅, and 800 kg ha⁻¹ of K₂O, respectively.

Table 7. Shoot, root, and total dry weights, and shoot to root dry weight ratio of *Physalis peruviana* L. plants as a function of NPK fertilization applied at planting

Treatments	Shoot	Root	Total	Shoot/Root
T1	19.62 d*	18.85 b	38.48 d	1.19 b
T2	29.48 d	17.13 b	46.61 d	1.80 a
T3	26.80 d	13.23 b	40.03 d	2.16 a
T4	53.05 b	23.47 a	76.52 b	2.33 a
T5	64.42 b	26.38 a	90.80 b	2.55 a
T6	38.94 c	23.93 a	62.88 c	1.75 a
T7	82.77 a	33.12 a	115.90 a	2.61 ^a
T8	3.98 e	5.19 c	9.18 e	0.79 b
CV (%)	22.88	32.98	21.54	27.96

Means followed by the same letter in the column are similar by the Scott-Knott test at 5% probability. T1: 400 mg dm⁻³ of N, 800 mg dm⁻³ of P₂O₅, 640 mg dm⁻³ of K₂O; T2: 600 mg dm⁻³ of N, 1200 mg dm⁻³ of P₂O₅, 960 mg dm⁻³ of K₂O; T3: 480 mg dm⁻³ of N, 2400 mg dm⁻³ of P₂O₅, 800 mg dm⁻³ of K₂O; T4: 800 mg dm⁻³ of N, 2400 mg dm⁻³ of P₂O₅, 1600 mg dm⁻³ of K₂O; T5: 1200 mg dm⁻³ of N, 3600 mg dm⁻³ of P₂O₅, 2400 mg dm⁻³ of K₂O; T6: 760 mg dm⁻³ of N, 1680 mg dm⁻³ of P₂O₅, 1400 mg dm⁻³ of K₂O; T7: 1600 mg dm⁻³ of N, 4800 mg dm⁻³ of P₂O₅, 3200 mg dm⁻³ of K₂O; T8: no NPK fertilization.

Source: Elaborated by the authors (2016).

The greater root development was found in plants in the T4, T5, T6, and T7 treatments (TABLE 7). The plants in T1 and T8 had the lowest shoot to root weight ratio. The treatment with the highest NPK rate (T7) had plants with well-developed shoots and roots, denoting an adequate nutrition.

The °Brix of the fruits was significantly affected by the NPK rates and combinations (TABLE 8).

Table 8: Analysis of variance of fruit °Brix, total number of fruits, and total fruit yield (g) of *Physalis peruviana* L. plants as a function of NPK fertilizer rates applied at planting

Source of variation	°Brix	Number of fruits	Fruit yield
NPK fertilization	0.0000*	0.0000*	0.0000*
CV (%)	9.99	25.47	26.53
Mean	10.03	9.59	54.85

*: significant by the F test at 5 % probability. CV: Coefficient of variation.

Source: Elaborated by the authors (2016).

Table 9 shows the means for fruit °Brix, total number of fruits, and total fruit yield of *Physalis* plants as a function of NPK fertilizer rates at planting.

Table 9: Fruit °Brix, number of fruits, and fruit yield of *Physalis peruviana* L. plants as a function of NPK fertilizer rates applied at planting

Treatments	°Brix	Number of fruits	Fruit yield
T1	11.70 a*	6.75 b	41.32 c
T2	11.90 a	7.75 b	62.13 b
T3	11.50 a	6.50 b	34.54 c
T4	11.26 a	8.85 b	53.23 b
T5	11.78 a	17.50 a	83.87 a
T6	11.23 a	10.50 b	67.75 b
T7	10.92 a	19.00 a	95.93 a
T8	0.00 b	0.00 c	0.00 d
CV (%)	9.99	25.47	26.53

Means followed by the same letter in the column are similar by the Scott-Knott test at 5 % probability. T1: 400 mg dm⁻³ of N, 800 mg dm⁻³ of P₂O₅, 640 mg dm⁻³ of K₂O; T2: 600 mg dm⁻³ of N, 1200 mg dm⁻³ of P₂O₅, 960 mg dm⁻³ of K₂O; T3: 480 mg dm⁻³ of N, 2400 mg dm⁻³ of P₂O₅, 800 mg dm⁻³ of K₂O; T4: 800 mg dm⁻³ of N, 2400 mg dm⁻³ of P₂O₅, 1600 mg dm⁻³ of K₂O; T5: 1200 mg dm⁻³ of N, 3600 mg dm⁻³ of P₂O₅, 2400 mg dm⁻³ of K₂O; T6: 760 mg dm⁻³ of N, 1680 mg dm⁻³ of P₂O₅, 1400 mg dm⁻³ of K₂O; T7: 1600 mg dm⁻³ of N, 4800 mg dm⁻³ of P₂O₅, 3200 mg dm⁻³ of K₂O; T0: no NPK fertilization.

Source: Elaborated by the authors (2016).

The fruit °Brix of plants grown without fertilization at planting was lower than that of plants in the other treatments (TABLE 9). The °Brix values found were higher than those reported by Valdivia Mares et al. (2016) in a field experiment (7.4 to 10.8). Contrastingly, Ianckiewicz et al. (2013) found °Brix of 13.56 to 14.74, which were higher than those found in the present study.

According to Ianckiewicz et al. (2013), soluble solids content (°Brix) is related to the amount of sugars and, consequently, to the taste of the fruit, determining the product quality and acceptance by the market. Therefore, according to the results found, these characteristics are not affected by the NPK fertilizer rates, even when applied at low rates at planting.

The T5 and T7 treatments presented the highest total number of fruits (TABLE 9). The plants that presented the highest total fruit yield were those in T5 and T7. Although these treatments did not present the highest mean fruit weight and mean fruit diameter, they produced a higher number of fruits. However, *Physalis* fruits are marketed mainly by their weight; the T5 treatment presented plants with similar yield to those in T7, but with application of 75 % of the NPK used in the T7 treatment. Parra et al. (2014) found positive effects of application of NPK on the yield of *Physalis*

peruviana using rates of 560 mg dm⁻³ of N, 280 mg dm⁻³ of P₂O₅, and 720 mg dm⁻³ of K₂O in an experiment conducted in Colombia.

Conclusions

Considering the conditions at which the *Physalis* plants were evaluated, the NPK rate applied at planting of the seedlings that promotes the greatest fruit production and greater economic advantage is 1200 mg dm⁻³ of N, 3600 mg dm⁻³ of P₂O₅, and 2400 mg dm⁻³ of K₂O.

The NPK rate applied at planting that promotes the best morphological development of the *Physalis* plants is 1600 mg dm⁻³ of N, 4800 mg dm⁻³ of P₂O₅, and 3200 mg dm⁻³ of K₂O.

Adubação de plantio com NPK para a cultura do *Physalis* (*Physalis peruviana* L.)

Resumo

A espécie *Physalis peruviana* L., família Solanaceae, é uma planta arbustiva de origem andina que produz frutos açucarados. Por ser uma espécie de cultivo recente, aspectos relacionados à sua adubação devem ser estudados. Neste sentido, o presente trabalho teve por objetivo definir a dose de NPK na adubação de plantio que atenda às exigências da cultura. O presente trabalho foi conduzido no Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG), *Campus* Bambuí, em casa de vegetação no período de 25 de fevereiro a 23 de novembro de 2015. O experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado, com 8 tratamentos e 6 repetições, totalizando 48 unidades experimentais. Os tratamentos consistiram em doses de N, P₂O₅ e K₂O (kg ha⁻¹), utilizando como fontes ureia (45% de N), monoamônio fosfato (9% de N e 44% de P₂O₅) e cloreto de potássio (58% de K₂O). Foram avaliadas características morfológicas, bromatológicas e produção de frutos. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias agrupadas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. A dose de NPK que propicia maior produção de frutos e maior economia são 1.200 mg dm⁻³ de N, 3.600 mg dm⁻³ de P₂O₅ e 2.400 mg dm⁻³ de K₂O e sobre o desenvolvimento morfológico 1.600 mg dm⁻³ de N, 4.800 mg dm⁻³ de P₂O₅ e 3.200 mg dm⁻³ de K₂O.

Palavras-chave: Nutrição mineral de plantas. Fertilidade do solo. Produção.

References

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>. Acesso em: 02 mar. 2016.

FISCHER, G. **Avances en cultivo, poscosecha y exportación de la Uchuva *Physalis peruviana* L. en Colombia**. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2005. 221p.

IANCKIEVICZ, A.; TAKABASBI, H. W.; FREGONEZI, G. A. F.; RODINI, F. K. Produção e desenvolvimento da cultura de *Physalis* L. submetida a diferentes níveis de condutividade elétrica da solução nutritiva. **Ciência rural**, v. 43, n. 3, p. 438-444, 2013. Disponível em: <http://eds.a.ebscohost.com/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=0&sid=24551118-2616-4d15-bac4-b3b4d28acd6b%40sessionmgr4007>. Acesso em: 03 mar. 2016.

LIMA, C. S. M. **Fenologia, sistemas de tutoramento e produção de *Physalis peruviana* na região de Pelotas, Rio Grande do Sul**. 117f. 2009. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pelotas, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, 2009.

PARRA, A. S.; BUCHELI, C. A.; MARÍN, A. C.; CORAL, O. C.; LAGOS, T. C. Respuesta de *Physalis peruviana* a la fertilización con diferentes dosis de N, P y K en el Altiplano de Pasto, Colombia. **Acta Agronómica**, v. 64, n. 4, p. 330-335, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.15446/acag.v64n4.44290>. Acesso em: 05 fev. 2016.

RUFATO, A. R.; RUFATO, L.; LIMA, C. S. M.; MUNIZ, J. **A cultura da physalis**. Brasília: EMBRAPA, 2013. p.172-238.

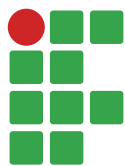
RUFATO, L.; ROSSI, R. A. de. **Aspectos técnicos da cultura da physalis**. Pelotas: CAV/UDESC, 2008. 100 p.

THOMÉ, M.; OSAKI, F. Adubação de nitrogênio, fósforo e potássio no rendimento de *Physalis* spp. **Revista Acadêmica Ciência Animal**, v. 8, n. 1, p. 11-18, 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.7213/cienciaanimal.v8i1.10364>. Acesso em: 15 fev. 2016.

VALDIVIA-MARES, L. E.; ZARAGOZA, F. A. R.; GONZÁLEZ, J. J. S; VARGAS-PONCE, O. Phenology, agronomic and nutritional potential of three wild husk tomato species (*Physalis*, Solanaceae) from Mexico. **Scientia Horticulturae**, v. 200, p. 83–94, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2016.01.005>. Acesso em: 10 fev. 2016.

Received: January 5, 2018

Accepted: March 27, 2018



Activity patterns of mammals at Quedas do Rio Bonito Ecological Park, Lavras City, Minas Gerais State, Brazil

Ellen Cristina Mões Oliveira¹

Felipe Santana Machado²

Antônio Carlos da Silva Zanzini³

Abstract

The activity patterns present a temporal partition of species cohabiting the same area in order to avoid competition. Moreover, it optimizes capture efforts and provides information on the natural history of species. Nevertheless, anthropic impacts compromise this activity by changing the patterns. Since there is a lack of studies in the last decades, this work demonstrates and discusses the pattern of activity of medium and large mammals in an ecological park in the south of the state of Minas Gerais, Brazil. Photographic trapping registered two species classified as cathemeral, four as nocturnal and two as diurnal. The predominant habit was nocturnal, which is the result of adaptive behaviors related to predation and human actions. The results of this study show the biological importance of the region and the need for new systematized studies focusing on the medium and large local mammal fauna, aiming to contribute to a more comprehensive knowledge of the local biodiversity.

Keywords: Activity pattern. Behavior. Functional activity.

Introduction

In Brazil, the state of Minas Gerais has a biodiversity favored by geocomponents, such as watersheds, relief forms and soils that allows a variety of phytophysiognomies (DRUMMOND et al., 2005). The Cerrado and Atlantic Forest domains, which present high mastofauna richness, with approximately 250 known species, are considered being two hotspots in critical state of conservation (MYERS, 2000). In these regions, a total of 40 species are threatened with extinction, especially medium and large animals; the threaten is mainly due to deforestation (DRUMMOND et al., 2005; LIMA; PASCIANI, 2014).

Medium and large mammals weights over one kilogram (FONSECA; ROBINSON, 1990). The majority of the studies related to this group focuses on descriptions of alpha diversity (e.g. MACHADO et al., 2016; MACHADO et al., 2017, among others). Nevertheless, up to date, there are no studies related to activity patterns.

The activity patterns is part of one of the ecological niche dimensions of a species, the temporal dimension (SCHOENER, 1974). Temporal partition of the species that cohabit the same area is a

1 Universidade Federal do Rio Grande do Norte, - mestranda, Pós-Graduação em Ecologia. ivs_ellen@hotmail.com. Rua do Berilo, 271, Lagoa Nova, Natal-RN, CEP 59078-000.

2 Universidade Federal de Lavras (UFLA)/ Departamento de Ciências Florestais, pesquisador associado. Escola Estadual Profa. Ana Letro Staacks, professor. epilefsama@hotmail.com

3 UFLA/Departamento de Ciências Florestais, professor. zanzini@dcf.ufla.br.

strategy to avoid competition, especially for species presenting similar habits (SCHOENER, 1974; KRONFELD-SCHOR; DAYAN, 2003). Therefore, animals are rarely active every night and day, as they alter their patterns between activity and rest (PEREIRA et al., 2016). When active, species can forage, seek sexual partners and defend their territory. As for the resting state, the animals prepare themselves for a new active period (HALLE; STENSETH, 2000).

Determining the activity period can optimize capture efforts, which is relevant information for the knowledge of the natural history of a given region (NASCIMENTO et al., 2004). However, anthropic impacts compromise the activity (GÓMEZ et al., 2005; ALFONSO-REYES, 2013), since they alter their rhythmic patterns according to environmental modifications (GRIFFITHS; VAN-SCHAIK, 1993; GOMEZ et al., 2005; ALFONSO-REYES, 2013).

Studies that seek to understand the activity patterns and sharing time of mammals have not been the focus in recent decades (KRONFELD-SCHOR; DAYAN, 2003). Therefore, this paper aimed to determine the activity patterns of medium and large mammals, and also to contribute to the knowledge of species composition at an ecological park. It is hypothesized that, since the study area is preserved, the species can modify their activity patterns when compared with other published studies.

Material and methods

Study area

The present study was conducted at *Quedas do Rio Bonito* Ecological Park (PEQRB), located in Lavras city, Minas Gerais State, Brazil (coordinates 21°19'45" S, 44°59'00" W, 1,235 m of altitude). The park, which has an area of 235 hectares, is a private property open to the public. It extends over a region of mountains covered by a fluvial tropical forest, near *Serra do Carrapato*, which represents a disjunction of *Serra do Espinhaço*. The property is maintained by the Abraham Kasinski Foundation, and constitutes the largest green area of Lavras. In the park, there is a mosaic of phytophysiognomies due to the history of forest fires and the removal of wood over the years (OLIVEIRA-FILHO; FLUMINHAN-FILHO, 1999).

The region is located between the Cerrado and the Atlantic Forest biomes, and it presents the following phytophysiognomies: Semideciduous Alluvial, Semideciduous Seasonal Forest in high mountain, *Cerrado*, *Candeia*, Rupestrian Fields and high mountain fields (SANTOS et al., 2016). Vilas Boas stream is responsible for the local drainage and its source is within the borders of the reserve. This water course is approximately 17 km long and flows into Capivari river, on the border between the municipalities of Lavras and Itumirim. According to the classification of Köppen, the climate is Cwa, with average annual rainfall of 1,460 mm. The annual average temperature is 20.4 °C, ranging from 17 °C to 23 °C (SANTOS et al., 2016).

Data collection

The survey of the medium and large mammal fauna of the PEQRB was carried out during ten months, from March to December 2016, covering dry and rainy periods. Photographic traps were distributed in eight forest habitat points in duplicates. Each photographic trap was in shooting mode for 24 hours/day, with duration of 10 seconds and intervals of 30 seconds between recordings. In each area where a camera was installed, visits took place at every 10 days, when data were collected from memory cards and stored separately per visit and per camera. The cameras had a horizontal

angle of approximately 90° and a vertical angle of 30°. For image quality, the cameras were installed at a height of 5-10 cm from the ground, in shaded areas. Photographs were captured in the presence of movement or body heat.

The sample effort was calculated by means of the number of photographic traps times the number of hours of operation (SRBEK-ARAUJO; CHIARELLO, 2005). Photographic records were considered independent when the interval between photographs of the same photographic-trap for the same species was one hour or more (SRBEK-ARAUJO; CHIARELLO, 2013). Therefore, during the entire study period, a sampling effort of 14,400 hours and a total effort of 57,600 hours were used for each area. Native species were identified according to Paglia et al. (2012) and exotic species were identified according to Gentry et al. (2004).

Conservation statuses followed the International Union for Conservation Nature (IUCN, 2015) for endangered species at a global level, Brazil (2014) for threatened species at the national level, and the State Environmental Policy Council (COPAM) (2010) for threatened in the state of Minas Gerais.

Data analysis

The cameras were set to record the day, hour and minute of each image. Thus, it was possible to obtain the number of records per species as well as their activity schedules.

The activity pattern of the registered species was elaborated from frequency histograms, considering 24 hours. Rose diagrams were used for species whose number of records was sufficient to obtain the Watson's U2 test. The rose diagrams representing the period of activity of each species were created according to Kovach (2011). The Watson's U2 test assumes a null hypothesis that the data distribute evenly around the circular mean. The analysis were performed using Oriana 4.0 software (KOVACH, 2011).

The criterion recommended by Gomez et al. (2005) was used to characterize the recorded species in relation to their activity period, as follows:

- Up to 70 % of records in the daytime period: daytime species.
- With 30 to 70 % of nocturnal records: cathemeral species (active during the day and during the night).
- Up to 70 % of nocturnal records: nocturnal species.

Results

Thirteen species of medium and large mammals were recorded: 12 native species and one exotic species, belonging to seven orders and ten families (TABLE 1). Two species are classified into threat categories (vulnerable) by the Brazilian Ministry of Environment (2014): *Chrysocyon brachyurus* (Illiger, 1815) and *Herpailurus yagouaroundi* (Geoffroy, 1803).

Table 1. List of species, common names and conservation category according to the Brazilian Ministry of Environment, COPAM and IUCN at *Quedas do Rio Bonito* Ecological Park, state of Minas Gerais, Brazil.

Taxon	Common name	COPAM	MMA	IUCN
DIDELPHIMORPHA DIDELPHIDAE				
<i>Didelphis aurita</i> (Wied-Neuwied, 1826)	Big-eared opossum	-	-	-
CINGULATA DASYPODIDAE				
<i>Euphractus sexcinctus</i> (Linnaeus, 1758)	Six-banded armadillo	-	-	-
<i>Dasyus</i> sp.		-	-	-
ARTIODACTYLA TAYASSUIDAE				
<i>Pecari tajacu</i> (Linnaeus, 1758)	Collared peccary	Vulnerable	-	-
PRIMATES CALLITRICHIDAE				
<i>Callithrix penicillata</i> (É. Geoffroy, 1812)	Black-tufted marmoset	-	-	-
CARNIVORA				
CANIDAE				
<i>Canis lupus familiaris</i> Linnaeus, 1758	Domestic dog	-	-	-
<i>Chrysocyon brachyurus</i> (Illiger, 1815)	Maned wolf	Vulnerable	Vulnerable	Almost endangered
FELIDAE				
<i>Leopardus pardalis</i> (Linnaeus, 1758)	Ocelot	Vulnerable	-	-
<i>Herpailurus yagouaroundi</i> (Geoffroy, 1803)	Jaguarundi	Vulnerable	-	-
MUSTELIDAE				
<i>Eira barbara</i> (Linnaeus, 1758)	Tayra	-	-	-
PROCYONIDAE				
<i>Nasua nasua</i> (Linnaeus, 1766)	South American coati	-	-	-
LAGOMORPHA LEPORIDAE				
<i>Sylvilagus brasiliensis</i> (Linnaeus, 1758)	Tapeti	-	-	-
RODENTIA				
CUNICULIDAE				
<i>Cuniculus paca</i> (Linnaeus, 1766)	Lowland paca	-	-	-

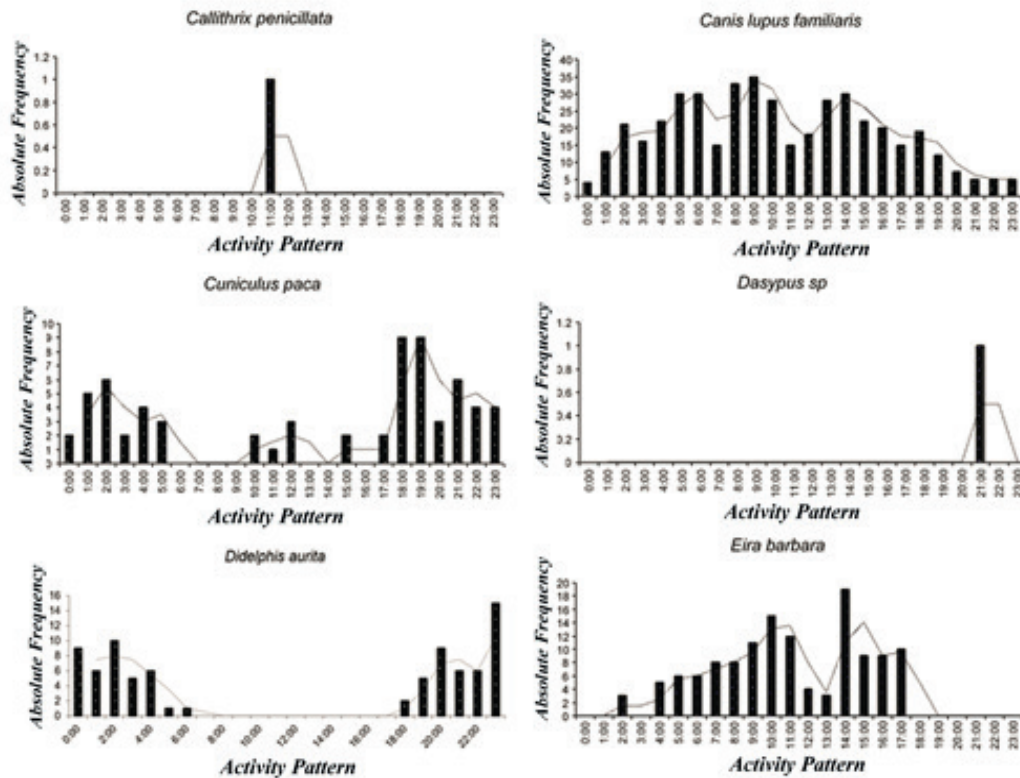
* COPAM = State Environmental Policy Council; IUCN = International Union for Conservation Nature; MMA = Brazilian Ministry of Environment.

Source: Elaborated by the authors (2019).

Although this study recorded 13 species (FIGURE 1), it was possible to analyze the activity pattern of only eight species: *Canis lupus familiaris* Linnaeus, 1758 (448), *Cuniculus paca* (Linnaeus, 1766) (67), *Chrysocyon brachyurus* (Illiger, 1815) (13), *Didelphis aurita* (Wied-Neuwied, 1826) (81), *Eira barbara* (Linnaeus, 1758) (128), *Leopardus pardalis* (Linnaeus, 1758) (10), *Nasua nasua* (Linnaeus, 1766) (128) and *Sylvilagus brasiliensis* (Linnaeus, 1758) (24) (FIGURE 2). The classification of the activity period and uniformity in the distribution of the records (Watson's test) were performed according to the classification of the phases of the day. *Canis lupus familiaris* and *L.*

pardalis are classified as cathemeral species, while *C. paca*, *C. brachyurus*, *D. aurita* and *S. brasiliensis* are classified as nocturnal. Only *E. barbara* and *N. nasua* are classified as diurnal (TABLE 2).

Figure 1. Activity patterns of six species at Quedas do Rio Bonito Ecological Park, state of Minas Gerais, Brazil.



Source: Elaborated by the authors (2019).

Table 2. Total number of records per species, distribution of records between periods of the day, classification of activity period and distribution uniformity (Watson’s test) for medium and large mammals at Quedas do Rio Bonito Ecological Park, state of Minas Gerais, Brazil

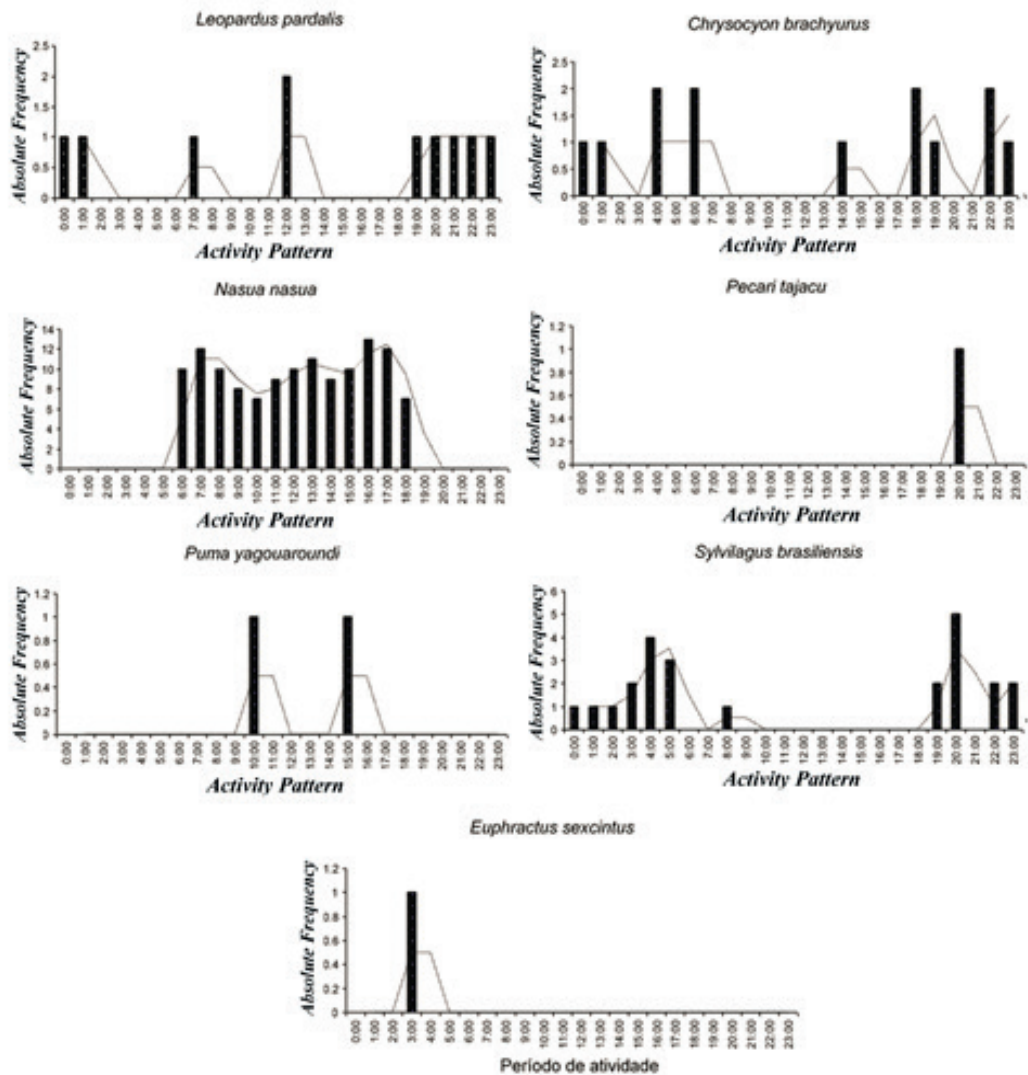
Taxon	Number of Records		Classification	Vector R	p value (Watson’s test)
	Total	Diurnal Nocturnal			
<i>Canis lupus familiaris</i> Linnaeus, 1758	448	289 159	Cathemeral	0.248	< 0.005 *
<i>Cuniculus paca</i> (Linnaeus, 1766)	67	10 57	Nocturnal	0.698	< 0.005 *
<i>Chrysocyon brachyurus</i> (Illiger, 1815)	13	3 10	Nocturnal	0.393	> 0.5
<i>Didelphis aurita</i> (Wied-Neuwied, 1826)	81	01 80	Nocturnal	0.726	< 0.005 *
<i>Eira barbara</i> (Linnaeus, 1758)	128	114 14	Diurnal	0.637	< 0.005 *

Taxon	Number of Records			Classification	Vector R	p value (Watson's test)
	Total	Diurnal	Nocturnal			
<i>Leopardus pardalis</i> (Linnaeus, 1758)	10	03	07	Cathemeral	0.109	> 0.5
<i>Nasua nasua</i> (Linnaeus, 1766)	128	121	07	Diurnal	0.633	< 0.005 *
<i>Sylvilagus brasiliensis</i> (Linnaeus, 1758)	24	01	23	Nocturnal	0.637	< 0.005 *

* p values with high statistical significance, indicating a non-uniform distribution in the activity period.

Source: Elaborated by the authors (2019).

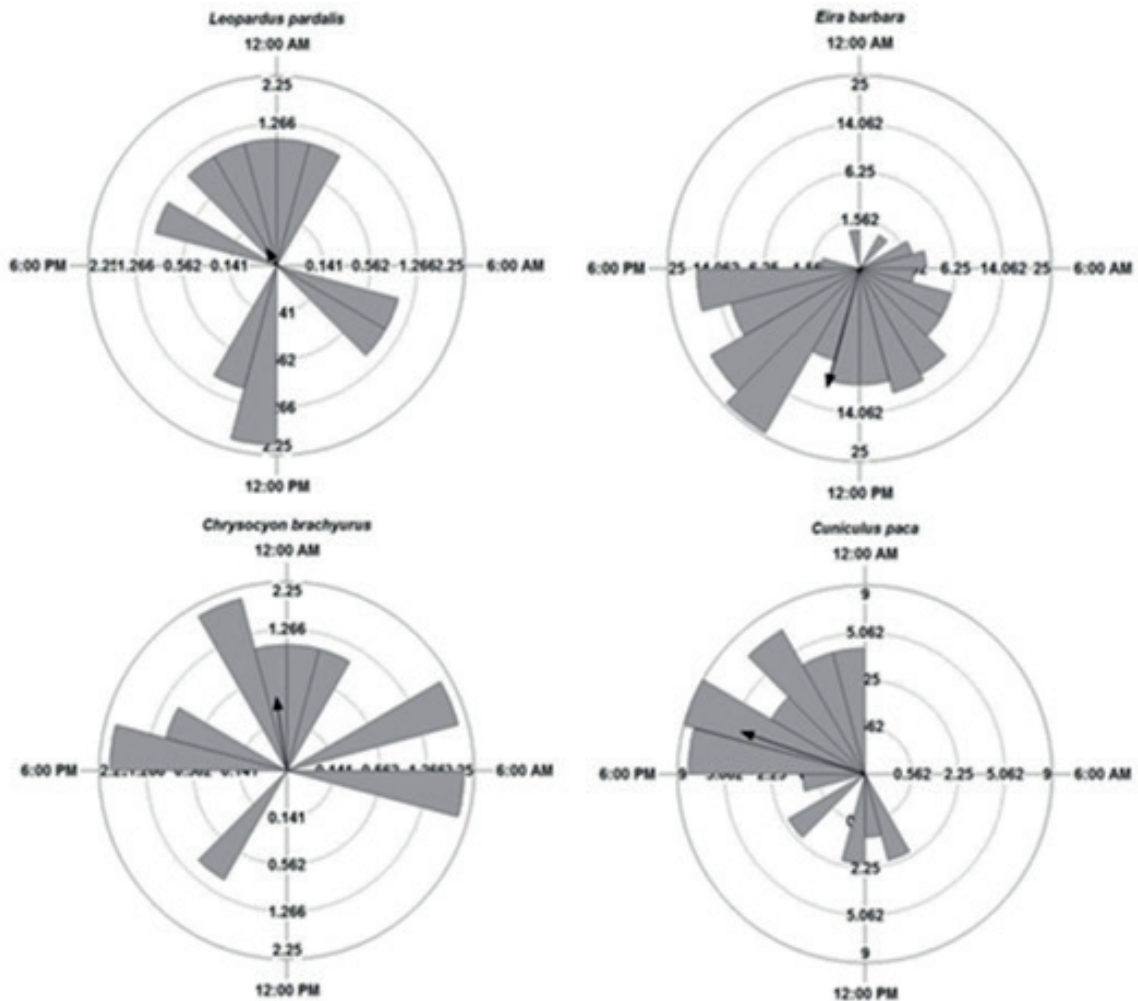
Figure 2. Activity patterns of seven species at Quedas do Rio Bonito Ecological Park, state of Minas Gerais, Brazil.



Source: Elaborated by the authors (2019).

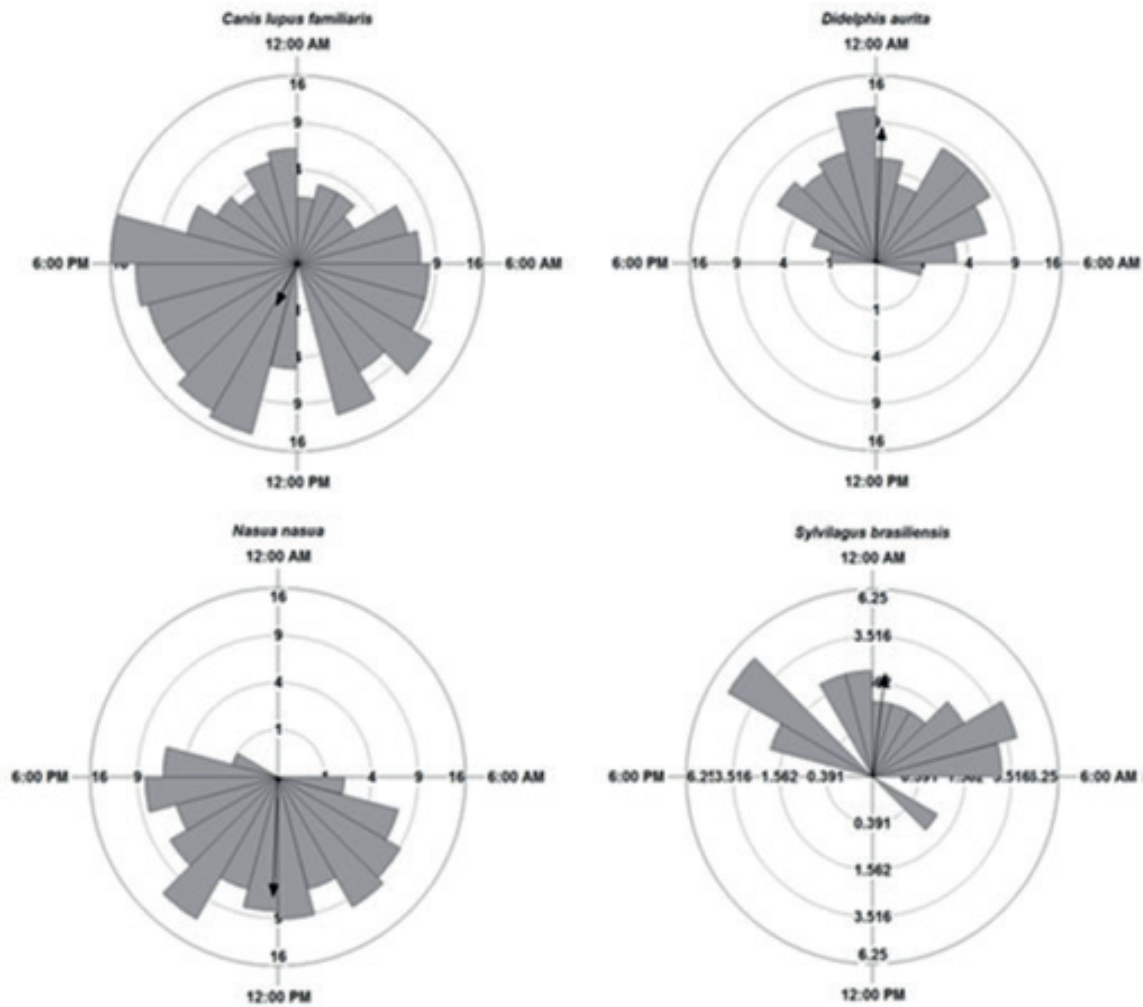
The rose diagrams represent the activity period of the species, in which every circular range presents areas proportional to the frequency of records. The arrows indicate the time the species presented greater activity (FIGURES 3; 4).

Figure 3. Rose diagram for the activity period of four species at Quedas do Rio Bonito Ecological Park, state of Minas Gerais, Brazil.



Source: Created by the authors (2019).

Figure 4. Rose diagram for the activity period of four species at Quedas do Rio Bonito Ecological Park, state of Minas Gerais, Brazil.



Source: Created by the authors (2019).

Discussion

The activity patterns of medium and large mammals of the present work corroborated other studies for *N. nasua*, *E. barbara*, *C. paca*, *C. brachyurus* and *S. brasiliensis* (CIOCHETI, 2007; MICHALSKI; NORRIS, 2011; LIRA-TORRES; BRIONES-SALAS, 2012; LUNA, 2014; ROCHA, 2015; PINHEIRO, 2015; SANTIAGO, 2015; PEREIRA et al., 2016; NODARI, 2016). *Cuniculus paca* was classified as nocturnal, differing from the results observed by Luna (2014). Their predominantly nocturnal behavior (MICHALSKI; NORRIS, 2011; BRAVO; SONTIN, 2012; MORENO; IRINEO, 2013) is associated with behavioral plasticity, since they fit different levels of local impact (MICHALSKI; NORRIS, 2011; LUNA, 2014; BLAKE et al., 2013). *L. pardalis*, which is classified as cathemeral in the present study, differed from the other studies in which it was classified as nocturnal (MAFFEI et al., 2005; GÓMEZ et al., 2005; DI BITETTI et al., 2006; TOBLER et al., 2009; DI BITETTI et al., 2010; BLAKE et al., 2012; CORTÉS-MARCIAL; BRIONES-SALAS, 2014).

Body size directly influences the pattern of species activity. The smaller mammals tend to be nocturnal, as an antipredatory strategy, whereas the larger mammals tend to be cathemeral since they have greater energetic requirements (SCHAIK; GRIFFITHS, 1996; GOMEZ et al., 2005; OLIVEIRA-SANTOS et al., 2013; NODARI 2016). The results suggest that assertion is true, since cathemeral species were the largest species (*L. pardalis* and *C. familiaris*). On the other hand, nocturnal species presented a smaller size (*S. brasiliensis*, *D. aurita* and *C. paca*), with the exception of *C. brachyurus*, which has a large size, but with nocturnal habits.

Felines are the animals that suffer the most negative effects of human activities (LUNA, 2014). *Leopardus pardalis* has its activity pattern altered and confined to some period of the day. Previous studies have shown similar results (SCOGNAMILLO et al., 2003; DI BITETTI et al., 2010). They use the day because they need a high energy demand, so they present a pattern of cathemeral activity without anthropic disturbances (MAFFEI et al., 2004; GOMEZ et al., 2005; NOSS et al., 2009; HARMSEN et al., 2009, 2011). In anthropic areas, these animals show a change in the activity pattern to avoid periods of greater human activity (DI BITETTI et al., 2008). This shows the study area has aspects of preserved area and the pattern described here is the result of an evolutionary pressure: interspecific competition (GOMEZ et al., 2005; NODARI, 2016).

Other carnivores tend to have a period of activity strongly related to the activity period of their prey (VAUGHAN, 1986). *Chrysocyon brachyurus* are notorious predators of small mammals (NASCIMENTO et al., 2004) and, because of this fact, they have nocturnal habit. In this study, it was observed the presence of fruits, invertebrates and small vertebrates (NASCIMENTO et al., 2004; PINHEIRO, 2015).

Holistically, predatory and prey animals present temporal segregation. Predators tend to have longer activity periods during the day, while prey are basically nocturnal. However, there is a small overlap in twilight periods, which may favor interspecific interactions such as predation. The condition of the environment favors the occurrence of this heterogeneous community (SANTOS et al., 2016) and agonistic interactions, favoring environmental equilibrium (as predicted by PAINE, 1966, when considering the bottom-up and top-down effects in complex trophic networks).

Conclusion

It is concluded the predominant habit of the species was nocturnal, which is the result of adaptive behaviors due to the pressure of predation and human actions. It is reiterated the high biological importance of the study area and the need to conduct new studies with a focus on the medium and large size mastofauna, aiming to contribute to a more comprehensive knowledge. In addition, a larger sampling effort might facilitate new records, even for species with few or no records.

Períodos de atividades de mamíferos no Parque Ecológico Quedas do Rio Bonito, Lavras, Minas Gerais, Brasil

Resumo

O período de atividade apresenta uma partição temporal das espécies que coabitam uma mesma área para evitar a competição, além disso, otimiza os esforços de captura e aumenta o conhecimento da história natural das espécies. Os impactos antrópicos comprometem essa atividade, pois alteram seus padrões; mesmo assim, estudos desse tema não estiveram no foco de pesquisas nas últimas décadas. Portanto, este trabalho demonstra e discute o padrão de atividade de mamíferos de médio e grande porte em uma reserva ecológica no sul de Minas Gerais. Por meio de armadilhamento fotográfico, duas espécies foram classificadas como espécies catemerais, quatro como noturnas e outras duas como diurnas. O hábito predominante foi o noturno, que é resultado de comportamentos adaptativos à pressão de predação e ações humanas. Reitera-se que os resultados evidenciam a importância biológica da região e a necessidade de novos estudos sistematizados com foco na mastofauna local de médio e grande porte, objetivando contribuir para um conhecimento mais abrangente da biodiversidade local.

Palavras-chave: Padrão de atividade. Comportamento. Atividade funcional.

Referências

- ALFONSO-REYES, A. F. **Abundância relativa, padrões de atividade e uso de habitat de onça-pintada e onça-parda no norte da Amazônia brasileira**. 2013. 71 f. Dissertação (Mestrado em Biologia Animal) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/10488/1/Disserta%c3%a7%c3%a3o%20Andr%c3%a9s%20Reyes.pdf>. Acesso em: 16 set. 2015.
- ARAÚJO-FILHO, J. C. A. **Floresta Estacional Semidecidual**. 2009. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/territorio_mata_sul_pernambucana/arvore/CONT000gt7eon7102wx7ha087apz2x2zjco4.html. 2009. Acesso em: 16 set. 2015.
- BLAKE, J. G.; MOSQUERA, D.; LOISELLE, B. A.; SWING, K.; GUERRA, J.; ROMO, D. Temporal activity patterns of terrestrial mammals in lowland rainforest of eastern, Ecuador. **Ecotropica**, v. 137, n. 18, p. 137–146, 2012. Disponível em https://www.socropecol.eu/PDF/Ecotropica_2012/Blake_et_al_2012_Ecotropica_18_2.pdf. Acesso em: 16 set. 2015.
- BLAKE, J. G.; MOSQUERA, D.; SALVADOR, J. Use of mineral licks by mammals and birds in hunted and non-hunted areas of Yasuní National Park, Ecuador. **Animal Conservation**, v. 16, n. 4, p. 430–437, 2013. Disponível em: <https://zslpublications.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/acv.12012>. Acesso em: 16 set. 2015.
- BRASIL. **Lista de espécies ameaçadas de extinção do Brasil**. 2014. Disponível em http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/biodiversidade/faunabrasileira/avaliacao-do-risco/PORTARIA_N%C2%BA_444_DE_17_DE_DEZEMBRO_DE_2014.pdf. Acesso em: 16 set. 2015.

BRAVO, O. E. R.; SANTIN, L. H. New records of tepezcuinle (*Cuniculus paca*) in Puebla, Central Mexico. **Revista Mexicana de Biodiversidad**. v. 83, p. 872-874, 2012. Disponível em: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1870-34532012000300032&lng=es&nrm=iso. Acesso em: 16 set. 2015.

CIOCHETI, G. **Uso de habitat e padrão de atividade de médios e grandes mamíferos e nicho trófico de Lobo-Guará (*Chrysocyon Brachyurus*), Onça-parda (*Puma concolor*) e Jaguaritica (*Leopardus pardalis*) numa paisagem agroflorestral, no estado de São Paulo**. 2007. 78 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Ecossistemas Aquáticos e Terrestres) - Universidade de São Paulo, São Paulo. 2007. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/41/41134/tde-16062008-135748/pt-br.php>. Acesso em: 16 set. 2015.

CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL(COPAM). **Deliberação normativa nº 147, de 30 de abril de 2010**. Lista de Espécies Ameaçadas de Extinção da Fauna do Estado de Minas Gerais. 2010. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=13192>. Acesso em: 16 set. 2015.

CORTÉS-MARCIAL, M.; BRIONES-SALA, M. Diversidad, abundância relativa patrones de actividad de mamíferos medianos y grandes en una selva seca del Istmo de Tehuantepec, Oaxaca, México. **Revista de Biología Tropical**, v. 62, n. 4, p. 1433-1448. Disponível em: <https://www.scielo.sa.cr/pdf/rbt/v62n4/a14v62n4.pdf>. Acesso em: 16 set. 2015.

DI BITETTI, M. S.; PAVIOLO, A.; DE ANGELO, C. Density, habitat use and activity patterns of ocelots (*Leopardus pardalis*) in the Atlantic Forest of Misiones, Argentina. **Journal of Zoology**, v. 270, n. 1, p. 153–163, 2006. Disponível em: <https://zslpublications.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1469-7998.2006.00102.x>. Acesso em: 21 ago. 2016.

DI BITETTI, M. S.; PAVIOLO, A.; FERRARI, C. A.; DE ANGELO, C.; DI BLANCO, Y. Differential Responses to Hunting in Two Sympatric Species of Brocket Deer (*Mazama americana* and *M. nana*). **Biotropica**. v. 40, n. 5, p. 636–645, 2008. Disponível em: <https://zslpublications.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1469-7998.2006.00102.x>. Acesso em: 21 ago. 2016.

DI BITETTI, M. S.; DE ANGELO, C. D.; DI BLANCO, Y. E.; PAVIOLO, A. Niche partitioning and species coexistence in a Neotropical felid assemblage. **Acta Oecologica**, v. 36, n. 4, p. 403–412, 2010. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1146609X10000548>. Acesso em: 21 ago. 2016.

DRUMMOND, G. M. **Biodiversidade em Minas Gerais: um atlas para sua conservação**. Belo Horizonte: Fundação Biodiversitas, 2005. p. 2-17.

FONSECA, G. A. B.; ROBINSON, J. G. Forest size and structure: competitive and predatory effects on small mammal communities. **Biological Conservation**, v. 53, p. 265-294, 1990. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0006320790900979>. Acesso em: 21 ago. 2016.

GENTRY, A.; CLUTTON-BROCK, J.; GROVES, C. P. The naming of wild animal species and their domestic derivatives. **Journal of Archaeological Science**, v. 31, n. 5, p. 645-651, 2004. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305440303001638>. Acesso em: 21 ago. 2016.

GOMES, L.; LENZA, E.; MARACAHIPES, L.; MARIMON, B. S.; OLIVEIRA, E. A. Comparações florísticas e estruturais entre duas comunidades lenhosas de cerrado típico e cerrado rupestre, Mato Grosso, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, Nova Xavantina, v. 25, n. 4, p. 865-875, 2011. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102-33062011000400013&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 21 ago. 2016.

GOMEZ, H.; WALLACE, B.; AYALA, G.; TEJEDA, R. Dry season activity periods of some Amazonian mammals. **Studies on Neotropical Fauna and Environment**, v. 40, p. 91-95, 2005. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01650520500129638>. Acesso em: 21 ago. 2016.

GRIFFITHS, M. S.; SCHAIK, C. P. V. The impact of human traffic on the abundance and activity periods of Sumatran rain forest wildlife. **Conservation Biology**, v. 7, n. 3, p. 623-626, 1993. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1046/j.1523-1739.1993.07030623.x>. Acesso em: 23 jun. 2016.

HALLE, S.; STENSETH, N. C. Ecological Studies. In: HALLE, S.; STENSETH, N. C. (Ed.). **Activity Patterns in Small Mammals – an Ecological Approach**. Berlin: Springer, 2000. p. 3-17.-

HARMSSEN, B. J.; FOSTER, R. J.; SILVER, S. C.; OSTRO, L. E. T.; C. P.; DONCASTER. Spatial and temporal interactions of two sympatric cats in a neotropical forest: the jaguar (*Panthera onca*) and the puma (*Puma concolor*). **Journal of mammalogy**, v. 90, n. 3, p. 612-620, 2009. Disponível em: <https://academic.oup.com/jmammal/article/90/3/612/874375>. Acesso em: 23 jun. 2016.

HARMSSEN, B. J.; FOSTER, R. J.; SILVER, S. C.; OSTRO, L. E. T.; DONCASTER, C. P. Jaguar and puma activity patterns in relation to their main prey. **Mammalian Biology**, v. 76, n. 3, p. 320-324, 2011. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1616504710001163>. Acesso em: 23 jun. 2016.

INTERNATIONAL UNION FOR CONSERVATION OF NATURE AND NATURAL RESOURCES (IUCN). **Redlist of threatened species. 2015**. Disponível em: <http://www.iucnredlist.org/>. Acesso em: 16 set. 2015.

KOVACH, W. L. **Oriana**: circular statistics for windows. Pentraeth: Kovach Computing Services, 2011. p. 57-58.

KRONFELD-SCHOR, N.; DAYAN, T. Partitioning of time as an ecological resource. **Annual review of ecology, evolution, and systematics**, v. 33, p. 153-181, 2003. Disponível em: <https://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev.ecolsys.34.011802.132435>. Acesso em: 16 set. 2015.

LIMA, J. C. S.; PASCIANI, V. Riqueza de espécies de mamíferos de médio e grande porte na Fundação Jardim Botânico de Poços de Caldas, Minas Gerais, Brasil. **Revista Biociências**, Taubaté, v. 20, n. 2, p. 62-70, 2014. Disponível em: <http://periodicos.unitau.br/ojs/index.php/biociencias/article/view/1889>. Acesso em: 16 set. 2015.

LIRA-TORRES, I.; BRIONES-SALAS, M. Abundancia relativa y patrones de actividad de los mamíferos de los chimalpas, Oaxaca, México. **Acta Zoológica Mexicana**. v. 28, n. 3, p. 566-585, 2012. Disponível em: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0065-17372012000300006&script=sci_arttext&tlng=pt. Acesso em: 16 set. 2015.

LUNA, R. B. **Padrão de atividades de duas comunidades de mamíferos no extremo norte da Amazônia brasileira sob diferentes níveis de conservação**. 2014. 98 f. Dissertação (Mestrado em Biologia Animal) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2014. Disponível em: <https://attena.ufpe.br/bitstream/123456789/11876/1/DISSERTA%c3%87%c3%83O%20Rodolfo%20Burgos%20de%20Luna.pdf>. Acesso em: 16 set. 2015.

MACHADO, F. S.; ALMEIDA, A. F.; BARROS, D. A.; PEREIRA, J. A. A.; SILVA, R. A.; PEREIRA, A. A. S. Diversity of medium and large-sized mammals at Atlantic Forest remnants in the south of Minas Gerais State, Brazil. **Check List**, v. 12, p. 1-7, 2016. Disponível em: <https://biotaxa.org/cl/article/view/12.5.1962>. Acesso em: 23 jun. 2016.

MACHADO, F. S.; MOURA, A. S.; SANTOS, K. K.; MENDES, P. B.; ABREU, T. C. K.; FONTES, M. A. L. Registros ocasionais de mamíferos de médio e grande porte na microrregião de Lavras e São João del-Rei, Campo das Vertentes, Minas Gerais. **Revista Agrogeoambiental**, v. 9, n. 1, p. 35-44, 2017. Disponível em: <https://200.131.173.22/index.php/Agrogeoambiental/article/view/930>. Acesso em: 23 jun. 2016.

MAFFEI, L.; CUELLAR, E.; NOSS, A. One thousand jaguars (*Panthera onca*) in Bolivia's Chaco Camera trapping in the Kaa-lya National Park. **Journal of Zoology**, v. 262, n. 3, p. 295–304, 2004. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/journal-of-zoology/article/one-thousand-jaguars-panthera-onca-in-bolivias-chaco-camera-trapping-in-the-kaaiya-national-park/03766879532F5684924B8F59D4BC53AD>. Acesso em: 23 jun. 2016.

MAFFEI, L.; NOSS, A.; CUELLAR, E.; RUMIZ, D. I. Ocelot (*Felis pardalis*) population densities, activity, and ranging behaviour in the dry forests of eastern Bolivia: data from camera trapping. **Journal of Tropical Ecology**, v. 21, n. 3, p. 349–353, 2005. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/journal-of-tropical-ecology/article/ocelot-felis-pardalis-population-densities-activity-and-ranging-behaviour-in-the-dry-forests-of-eastern-bolivia-data-from-camera-trapping/541E4FADCADB9189491F98CB3BCB5FB>. Acesso em: 23 jun. 2016.

MICHALSKI, F.; NORRIS, D. Activity pattern of *Cuniculus paca* (Rodentia: Cuniculidae) in relation to lunar illumination and other abiotic variables in the southern Brazilian Amazon. **Zoologia**, v. 28, n. 6, p. 701–708, 2011. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1984-46702011000600002. Acesso em: 23 jun. 2016.

MORENO, A. S.; IRINEO, G. P. Abundancia de tepezcuintle (*Cuniculus paca*) y relación de su presencia con la de competidores y depredadores en una selva tropical. **Therya**, v. 4, n. 1, p. 89-98, 2013. Disponível em: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-33642013000100009&script=sci_arttext&tIng=en. Acesso em: 23 jun. 2016.

MYERS, N.; MITTERMEIER, A.; MITTERMEIER, C. G.; FONSECA, G. A. B.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, Londres, v. 403, n. 6772, p. 853-858, 2000. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/35002501>. Acesso em: 10 ago. 2016.

NASCIMENTO, V. L.; FERREIRA, J. A.; FREITAS, D. M.; SOUZA, L. L.; BORGES, A. L.; TOMAS, W. M. Período de atividade de alguns vertebrados do Pantanal, estimado por fotografia remota. In: SIMPÓSIO SOBRE RECURSOS NATURAIS E SÓCIO-ECONÔMICOS DO PANTANAL, 4., 2004, Corumbá. **Resumos...** Corumbá, 2004. Disponível em: http://www.academia.edu/17045752/Per%C3%ADodo_de_atividade_de_alguns_vertebrados_do_Pantanal_estimado_por_fotografia_remota. Acesso em: 23 jun. 2016.

NODARI, J. Z. **Padrão de atividade e segregação temporal entre mamíferos de médio e grande porte na Mata Atlântica**. 2016. 38 f. Dissertação (Mestrado em Biologia Animal), Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, 2016. Disponível em: http://repositorio.ufes.br/jspui/bitstream/10/9425/1/tese_9748_Dissertacao_Final20161227-173552.pdf. Acesso em: 2 dez. 2015.

NOSS, A. J.; KELLY, M. J.; CAMBLOS, H. B.; RUMIZ, D. I. Pumas y Jaguares Simpátricos: Datos de Trampas-Cámara en Bolivia y Belize. **Memorias: manejo de fauna silvestre en la Amazonía Y Latinoamérica**. p. 229-237, 2006. Disponível em: <http://www.mjkelly.info/Publications/Noss06Cats.pdf>. Acesso em: 2 dez. 2015.

OLIVEIRA-FILHO, A. T.; FLUMINHAN-FILHO, M. Ecologia da vegetação do Parque Florestal Quedas do Rio Bonito. **Cerne**, v. 5, n. 2, p. 51-64, 1999. Disponível em: <http://cerne.ufla.br/site/index.php/CERNE/article/download/525/452/>. Acesso em: 2 dez. 2015.

OLIVEIRA-SANTOS, L. G.; ZUCCO, R. C. A.; AGOSTINELLI, C. Using conditional circular kernel density functions to test hypotheses on animal circadian activity. **Animal Behaviour**, v. 85, n. 1, p. 269-280. Disponível em: <https://facfan.ufms.br/files/2015/09/Using-conditional-circular-kernel-density-functions-to-best-hypotheses-on-animal-circadian-activity.pdf>. Acesso em: 2 dez. 2015.

PAGLIA, A. P.; FONSECA, G. A.; RYLANDS, A. B.; HERRMANN, G.; AGUIAR, L. M.; CHIARELLO, A. G.; LEITE, Y. L. R.; COSTA, L. P.; SICILIANO, S.; KIERULFF, M. C. M.; MENDES, S. L.; TAVARES, V. C.; MITTERMEIER, R. A.; PATTON, J. L. Lista anotada dos mamíferos do Brasil. 2 ed. **Occasional papers in conservation biology**, v. 6, p. 76, 2012. Disponível em: https://web.conservation.org/global/brasil/publicacoes/Documents/annotated_checklist_of_brazilian_mammals_2nd_edition.pdf. Acesso em: 2 dez. 2015.

PAINE, R. T. Food web complexity of species diversity. **American Naturalist**, v. 100, p. 65-75. 1966. Disponível em: <https://www.journals.uchicago.edu/doi/abs/10.1086/282400>. Acesso em: 2 dez. 2015.

PEREIRA, A. D.; BASTIANI, E.; BAZILIO, S. Influência do ciclo lunar no padrão de atividade de *Cuniculus paca* (Rodentia: Cuniculidae) em uma floresta de Mata Atlântica no Sul do Brasil. **Papéis Avulsos de Zoologia**, São Paulo, v. 56, n. 8, p. 97-102, 2016. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/paz/v56n8/1807-0205-paz-56-08-97.pdf>. Acesso em: 2 dez. 2015.

PINHEIRO, J. P. C. **Uso e ocupação do hábitat e período diário de atividades de quatis (*Nasua nasua*) em fragmentos de floresta estacional semidecidual**. 2015. 35f. Dissertação (Pós-Graduação em Biologia Animal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2015. Disponível em: <http://www.locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/7513/texto%20completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 21 dez. 2016.

ROCHA, D. G. **Padrão de atividade e fatores que afetam a amostragem de mamíferos de médio e grande porte na Amazônia Central**. 2015. 83 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Amazonas, 2015. Disponível em: https://bdtd.inpa.gov.br/bitstream/tede/1521/2/Dissertacao_%20Daniel%20Gomes%20Rocha.pdf. Acesso em: 21 dez. 2016.

SANTIAGO, W. T. V. **Ecologia de comunidades de mamíferos de médio e grande porte no estado do Tocantins, Brasil**. 2016. 137f. Tese (Doutorado em Biologia e Ecologia das Alterações Globais) – Universidade de Aveiro, Aveiro, 2016. Disponível em: https://ria.ua.pt/bitstream/10773/22362/1/TESE_Wagner_Santiago_aprovada_29112016.pdf. Acesso em: 21 dez. 2016.

SANTOS, K. K.; PACHECO, G. S. M.; PASSAMANI, M. Medium-sized and large mammals from Quedas do Rio Bonito Ecological Park, Minas Gerais, Brazil. **Check List**, Lavras, v. 12, n. 1, p. 1-8, 2016. Disponível em: <https://www.biotaxa.org/cl/article/view/12.1.1830>. Acesso em: 21 dez. 2016.

SCHAIK, C. P.; GRIFFITHS, M. Activity periods of Indonesian rain forest mammals. **Biotropica**, v. 28, n. 1, p. 105–112, 1996. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/2388775>. Acesso em: 21 dez. 2016.

SCHOENER, T. W. Resource partitioning in ecological communities. **Science**, v. 185, n. 4.145, p. 27-39, 1974. Disponível em: <https://science.sciencemag.org/content/185/4145/27>. Acesso em: 21 dez. 2016.

SRBEK-ARAUJO, A. C.; CHIARELLO, A. G. Is camera-trapping an efficient method for surveying mammals in Neotropical forests? A case study in south-eastern Brazil. **Journal of Tropical Ecology**, v. 21, p. 121-125, 2005. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/journal-of-tropical-ecology/article/is-cameratrapping-an-efficient-method-for-surveying-mammals-in-neotropical-forests-a-case-study-in-southeastern-brazil/5BDF54A5F75AAC4B38175CD1BFC8CEA1>. Acesso em: 22 dez. 2016.

SCOGNAMILLO, D.; MAXIT, I. E.; SUNQUIST, M.; POLISAR, J. Coexistence of jaguar (*Panthera onca*) and puma (*Puma concolor*) in a mosaic landscape in the Venezuelan llanos. **Journal of Zoology**, v. 259, n. 3, p. 269–279, 2003. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/journal-of-zoology/article/coexistence-of-jaguar-panthera-onca-and-puma-puma-concolor-in-a-mosaic-landscape-in-the-venezuelan-llanos/BE41AF68B2602CE634D6F82530497691>. Acesso em: 23 dez. 2016.

SRBEK-ARAUJO, A. C.; CHIARELLO, A. G. Is camera-trapping an efficient method for surveying mammals in Neotropical forests? A case study in south-eastern Brazil. **Journal of Tropical Ecology**, v. 21, p. 121-125, 2005. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/journal-of-tropical-ecology/article/is-cameratrapping-an-efficient-method-for-surveying-mammals-in-neotropical-forests-a-case-study-in-southeastern-brazil/5BDF54A5F75AAC4B38175CD1BFC8CEA1>. Acesso em: 24 dez. 2016.

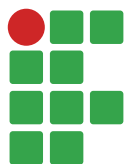
SRBEK-ARAUJO, A. C.; CHIARELLO, A. Influence of camera-trap sampling design on mammal species capture rates and community structures in southeastern Brazil. **Biota Neotropica**, v. 13, p. 51-62, 2013. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1676-06032013000200051. Acesso em: 25 dez. 2016.

TOBLER, M. W.; CARRILO-PERCASTEGUI, S. E.; POWELL, G. Habitat use, activity patterns and use of mineral licks by five species of ungulate in south-eastern Peru. **Journal Tropical Ecology**, v. 25, n. 3, p. 261–270, 2009. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/journal-of-tropical-ecology/article/habitat-use-activity-patterns-and-use-of-mineral-licks-by-five-species-of-ungulate-in-southeastern-peru/93B7B67FA185E123F4057E48D778FBE1>. Acesso em: 26 dez. 2016.

VAUGHAN, T. A. **Mammalogy**. 3. ed. Saunders College Publishing, Fort Worth. 1986. P 343-346.

Received: November 22, 2017

Accepted: March 28, 2018



Description of the carbon mineralization of swine manure and oat straw in the soil through nonlinear models

Edilson Marcelino Silva¹

Thais Destefani Ribeiro Furtado²

Jaqueline Gonçalves Fernandes³

Joel Augusto Muniz⁴

Abstract

Agricultural management is a viable way for recycling animal residues in feedlots. The substances that make up organic residues change the dynamics of the organic matter decomposition in the soil. Information on carbon mineralization curves allows seeking improvements in soil quality and, consequently, in crop productivity. The Stanford & Smith Nonlinear Model is the most used to describe C mineralization of organic residues in the soil. This model considers organic residues are composed of substances that are mineralized exponentially. The Cabrera Model considers two fractions, one composed of substances that are mineralized exponentially and other composed of more resistant substances with constant mineralization. The objective of this work was to compare nonlinear models that describe carbon mineralization, considering residues on surface or incorporated into the soil. The data evaluated were from an experiment with oat straw, liquid swine manure, and swine litter bedding. The Stanford & Smith and Cabrera Models were used considering structure of first order autoregressive errors - AR(1), when necessary. The fittings were compared using the Akaike Information Criterion (AIC). The Cabrera Model was more adequate to describe C mineralization in four treatments (soil + incorporated liquid swine manure; soil + oat straw on surface + liquid swine manure on surface; soil + incorporated straw; and soil + straw on surface). The Stanford & Smith Model was better in three treatments (soil + incorporated straw + incorporated liquid swine manure; swine litter bedding on surface; and incorporated swine litter bedding). None of the models described the treatment soil + liquid swine manure on surface.

Keywords: Decomposition. Half-life. Stanford & Smith Model. Cabrera Model.

Introduction

Swine farming is an economic activity with high polluting potential due to the large amount of waste generated, and reducing the impact of its disposal in the environment is a challenge. Considering swine diet is rich in protein and other products, residues from these animals have a high fertilizing potential and can be used as source of nutrients for plants (FERNANDES et al., 2011; SILVA et al., 2015). Studies show the application of appropriate rates of swine manure on the soil

1 Universidade Federal de Lavras (UFLA), doutorando em Estatística e Experimentação Agropecuária. Lavras, Minas Gerais, Brasil. edilsonmg3@hotmail.com. Departamento de Estatística, Caixa Postal 37, Campus Universitário da UFLA, Lavras, Minas Gerais, CEP 37200-000.

2 UFLA, doutora em Estatística e Experimentação Agropecuária. t.destefani.ribeiro@gmail.com.

3 UFLA, doutoranda em Estatística e Experimentação Agropecuária. jacgonfer@gmail.com.

4 UFLA, professor titular. joamuniz@des.ufla.br.

increases soil organic dry matter and crop yield (SILVA et al., 2015; PINTO et al., 2014). Agricultural management is a viable alternative for recycling swine manure, however it requires information on its effects on the decomposition rate of crop residues over time. Studies on sustainability of agricultural production systems emphasize the importance of soil management practices and their impacts on soil biological and biochemical properties (MERCANTE, 2001). Environmental issues related to wastes from production systems and strategic recycling practices for rational conduction and sustainability of the activity have worried researchers and rural producers (COSTA et al., 2009; SILVA; PINTO, 2010).

The decomposition of plant and animal residues in the soil is important to improve organic matter (OM) and soil biological, physical, and chemical properties. The presence of OM increases the activity of microorganisms responsible for decomposition and, consequently, the release of minerals that compose the OM. In this process, part of the carbon is released as carbon dioxide (CO₂) and other part remains unchanged and can be incorporated by the microbial biomass (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

CO₂ is the result of the energetic metabolism of microorganisms, thus, the amount of CO₂ released from the soil is used to indicate the decomposition rate and microbial activity in residues and OM in the soil. The use of the regression analysis to evaluate CO₂ emissions found in experiments over time with repeated measures is more adequate than comparisons by mean tests (PIMENTEL GOMES, 2000). The amount of CO₂ released is greater at the beginning of the OM decomposition, since the carbon of easily degradable substances is mineralized in this stage. However, the release of CO₂ decreases over time because of C mineralization of more resistant substances (PULROLNIK, 2009). This dynamic can be described by mathematical equations, with nonlinear models.

Stanford & Smith (1972) is one important nonlinear model used to describe the accumulation of mineralized carbon in soils over time. Several authors have used this model to study carbon dynamics with satisfactory results, when evaluating sewage sludge (ANDRADE et al., 2013; ANDRADE et al., 2016), poultry and biochar litter (ANDRADE et al., 2015), eucalyptus plantation (BARRETO et al., 2010), and leguminous species (NUNES et al., 2016). Other studies have used the Stanford & Smith Model in studies on animal manure (PAULA et al., 2013), swine waste (FERNANDES et al., 2011), tannery sludge (MARTINES et al., 2006), and wheat and straw (ZHOU et al., 2012). Alves et al. (1999) fitted Stanford & Smith Model and Molina and Cabrera Models to mineralization of nitrogen and carbon in 20 soils and found the same mineralization patterns for these two elements. Sleutel et al. (2005) evaluated the fit of five nonlinear models to predict mineralized C, including the Cabrera and Stanford & Smith Models, to C mineralization data of organic residues and found that the models satisfactorily described soil C dynamics. Silva et al. (2019) evaluated these two models in a study on C mineralization of sewage sludge and oat straw in the soil and obtained satisfactory results.

For accumulated data in studies of soil respiration, since measures take place repeatedly at nonlinear models, observations may be correlated (HESS; SCHMIDT, 1995), presenting structures of dependence in the experimental errors. According to Fernandes et al. (2014), the modeling of this correlation must be considered in order to obtain an adequate fitting.

The substances that compose organic residues change the dynamics of soil organic matter decomposition. The Stanford & Smith Model considers organic residues are composed of substances that are mineralized exponentially. The Cabrera Model considers two fractions, one composed of substances that are mineralized exponentially and other composed of more resistant substances that undergo constant mineralization. The dynamics of soil decomposition must be evaluated for better management of agricultural soils. Thus, the objective of the present work was to describe CO₂ mineralization curves, based on the percentage of mineralized carbon from oat straw and swine manure applied to the soil surface or incorporated into the soil. The fits of the Stanford & Smith Model

and Cabrera Model were compared, estimating the half-life of the mineralized C, considering the effect of incorporating the organic residues into the soil.

Material and methods

The data used to fit the models were extracted from Giacomini et al. (2008); they consisted of average results of an experiment that evaluated carbon mineralization (C) of four organic residues applied to the soil surface or incorporated into the soil. The authors compared the treatments at each time by the Tukey test, representing the means graphically without fitting regression models, which is the most appropriate technique, mainly for data obtained over time. The fitting of non-linear models allows for comparisons of the models that best describe the data and estimation for the half-life of the mineralized C, providing useful information to explain the results.

The experiment was carried out in a laboratory, evaluating samples of an arenic dystrophic Red Argissolo (Ultisol) collected from the 0-10 cm layer in an area that was being managed under no-tillage system. The soil presented 18 g kg⁻¹ of organic matter, 150 g kg⁻¹ of clay, and pH in water of 5.2. Soil samples were sieved in a 4 mm mesh sieve and stored wet in plastic bags at room temperature for 13 days before incubation.

Oat plants were collected when they were at the physiological maturation stage, subjected to air drying, and stored in a dry place until incubation. Before incubation, the oat grains were discarded, and the stems and leaves were cut into 1 to 2 cm pieces. A subsample from the plant material was dried in an oven at 65 °C to obtain the dry matter and calculate the amount of air-dried straw to be added to the soil.

The liquid swine manure (LSM) was obtained from an anaerobic compost bin at a swine farm with animals at maternity and rearing stages. The swine litter bedding (SLB) was composed of residues from five lots of finishing swine (15 months) reared on sawdust bed. These residues were dried in an oven at 65 °C until constant weight to obtain their dry matter.

The experiment was conducted in a completely randomized design, with four replications and 9 treatments. The treatments consisted of a control (soil); soil + incorporated oat straw (OS-I); soil + oat straw on surface (OS-S); soil + incorporated swine litter bedding (SLB-I); soil + swine litter bedding on surface (SLB-S); soil + incorporated liquid swine manure (LSM-I); soil + liquid swine manure on surface (LSM-S); soil + incorporated oat straw + incorporated liquid swine manure (OS+LSM-I); and soil + oat straw on surface + liquid swine manure on surface (OS+LSM-S). The percentages of mineralized carbon in the treatments with oat straw and with swine manure were calculated based on the difference between the respective treatments and the control treatment, thus, the control treatment data were not used in this study.

Samples of the 9 treatments were incubated in acrylic containers. The amount of oat straw added to the dried soil in each container was 7.0 g kg⁻¹, equivalent to 2.8 Mg ha⁻¹ of oat straw. LSM and SLB were added to dried soils at the proportions of 48.2 mL kg⁻¹ (20 m³ ha⁻¹) and 31.5 g kg⁻¹ (12,6 Mg ha⁻¹), respectively. The C mineralization in the different treatments was evaluated by the CO₂ emission during incubation, measuring the percentage of mineralized C always in the same experimental units at 3, 5, 9, 14, 20, 25, 30, 35, 45, 55, 65 and 80 days after the beginning of the incubation. The CO₂ released in the treatments at different times was collected in 10 mL of a 1 mol L⁻¹ sodium hydroxide solution.

The models evaluated were Stanford & Smith (1972) (Equation 1) and Cabrera (1993) (Equation 2), reparametrized by Zeviani et al. (2012).

$$C_t = C_0(1 - \exp(-kt)) + \varepsilon_t \quad (1)$$

$$C_t = C_1(1 - \exp(-\ln 2 \cdot t/v)) + k_0 t + \varepsilon_t \quad (2)$$

at which

C_t is the percentage of mineralized carbon added up to time t (days);

C_0 is the potentially mineralizable carbon;

k and k_0 are the mineralization rates;

ε_t is the experimental error with mean zero and variance σ^2 .

C_1 is the easily mineralizable carbon;

v is the half-life ($t_{1/2}$) of the easily mineralizable carbon;

ε_t is the experimental error with mean zero and variance σ^2 .

The half-life of the potentially mineralizable carbon for the Stanford & Smith model was estimated by

$$t_{1/2} = \ln(2)/k \quad (3)$$

which is the time spent to mineralize half of the potentially mineralizable carbon (ZEVIANI et al., 2012), i.e., when half of the organic carbon is released as inorganic carbon.

The analysis of the estimated errors was made through the Durbin Watson test to verify the independence, and the Breusch-Pagan test to verify the hypothesis that the experimental errors are homoscedastic. When the Durbin-Watson test rejected the null hypothesis that the experimental errors are independent, the errors of the model were considered as

$$\varepsilon_t = \phi \varepsilon_{t-1} + \lambda_t \quad (4)$$

at which:

ϕ is the first order autocorrelation parameter AR(1) and

λ_t is the white noise (MORETTIN; TOLOI, 2006).

In cases at which the assumption of normality was met, not rejecting the hypothesis that errors are normally distributed ($p > 0.05$), the confidence interval was estimated with 95% probability for the parameters of the models based on the equation 5

$$IC(\hat{\theta}_i) \Rightarrow \hat{\theta}_i \pm t_{(q; 0,025)} S(\hat{\theta}_i) \quad (5)$$

at which

$\hat{\theta}_i$ is the estimate of the model of the parameter

$t_{(q; 0,025)}$ is the value in the t-Student distribution with $q = n - p$ degrees of freedom and area of 0.025 at the right

$S(\hat{\theta}_i)$ is the standard error of the estimate of the parameter $\hat{\theta}_i$ obtained by the square root of the corresponding term in the diagonal of the estimated variance and covariance matrix.

In studies with nonlinear models, the estimation of the parameters is approximated by iterative numerical methods, since there is no closed form to solve the system of normal equations (DRAPER; SMITH, 2014). Among the iterative methods, Gauss-Newton is the most used (PEREIRA et al., 2005; CARNEIRO et al., 2014; SILVEIRA et al., 2018; RIBEIRO et al., 2018; RIBEIRO et al., 2018). The parameters were estimated using the generalized least squares method, in the `gnls` function of the `nlme` package (PINHEIRO et al., 2015) of the R program (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2015).

The quality of fit was assessed by the adjusted coefficient of determination, at which the higher its value the better the fit (Equation 6)

$$R^2_{aj} = 1 - \frac{(n-i)(1-R^2)}{n-p} \quad (6)$$

at which

n is the number of observations used to fit the model

i is the intercept of the model, which is equal to 1 when there is an intercept and 0 otherwise

p is the number of parameters

R^2 is the coefficient of determination, at which SSE is the sum of squares of the errors, TSS is the total sum of the squares.

By the residual standard deviation, which is proportional to the mean square of the error, lower values indicate better fit, given by $DPR = \sqrt{QME}$

at which:

$QME = \frac{SQE}{n-p}$ is the mean square of the error.

The best model was selected based on the Akaike information criterion, which is proportional to the mean square of the residue, thus, the most adequate model is the one that presents the lowest value (FERNANDES et al., 2014), given by Equation 7:

$$AIC = -2\ln L(\hat{\theta}) + 2p \quad (7)$$

at which

$\ln L(\hat{\theta})$ is the value of the natural logarithm of the likelihood function, considering the estimates of the parameters.

Results and discussion

Table 1 shows the results of the analysis of estimated errors with the Stanford & Smith and Cabrera Models fitted to soil carbon mineralization data, based on the Durbin-Watson (DW), Shapiro-Wilk (SW), and Breusch-Pagan (BP) tests. SW test was significant for the OS+LSM-I and OS-S treatments when fitted by the Stanford & Smith Model and Cabrera Model, respectively. Thus, the confidence intervals for the estimates of the parameters of these models were not considered, since it is not possible to state the errors are normally distributed. For the other treatments and models, the assumption of normality was corroborated by the SW test. The BP test showed the hypothesis

of homogeneity of variance were rejected for the LSM-S treatment ($p < 0.05$) when considering the Stanford & Smith Model, therefore this model was not considered to describe this treatment.

Table 1: *P*-values of Shapiro-Wilk (SW), Durbin-Watson (DW), and Breusch-Pagan (BP) tests applied to the errors of the Stanford & Smith Model and Cabrera Model, and evaluators of the fitting quality, adjusted coefficient of determination (R_{aj}^2), residual standard deviation (RSD), and Akaike Information Criterion (AIC) for the percentage of mineralized carbon of the eight treatments.

Treatment	Model	SW P-values	DW P-values	BP P-values	R_{aj}^2	RSD	AIC
soil + incorporated liquid swine manure	Stanford and Smith	0.1949	0.0040	0.0726	0.9769	2.4829	57.946
soil + incorporated liquid swine manure	Cabrera	0.7362	0.0240	0.5534	0.9826	1.9595	55.492
soil + liquid swine manure on surface	Stanford and Smith	0.6020	0.0140	0.0419	0.9904	3.5389	46.811
soil + liquid swine manure on surface	Cabrera	0.5956	0.0120	0.6140	0.9912	1.5632	49.736
soil + incorporated oat straw + incorporated liquid swine manure	Stanford and Smith	0.0284	0.0000	0.2359	0.9986	0.6822	29.100
soil + incorporated oat straw + incorporated liquid swine manure	Cabrera	0.3698	0.0000	0.1867	0.9988	0.6790	26.000
soil + oat straw on surface + liquid swine manure on surface	Stanford and Smith	0.9737	0.0100	0.4572	0.9973	0.8698	31.465
soil + oat straw on surface + liquid swine manure on surface	Cabrera	0.2133	0.0720	0.5699	0.9984	0.6778	29.270
soil + incorporated oat straw	Stanford and Smith	0.4719	0.0020	0.7130	0.9914	1.6933	44.773
soil + incorporated oat straw	Cabrera	0.8633	0.2740	0.0851	0.9984	0.6994	30.020
soil + oat straw on surface	Stanford and Smith	0.0730	0.0460	0.3727	0.9943	1.2055	39.694
soil + oat straw on surface	Cabrera	0.0441	0.6600	0.3907	0.9988	0.5122	22.544
soil + incorporated swine litter bedding	Stanford and Smith	0.1890	0.9020	0.4039	0.9984	0.2876	7.956
soil + incorporated swine litter bedding	Cabrera	0.2365	0.8660	0.5703	0.9982	0.3015	9.827
soil + swine litter bedding on surface	Stanford and Smith	0.4637	0.5600	0.1335	0.9950	0.5083	21.630
soil + swine litter bedding on surface	Cabrera	0.3709	0.5400	0.1765	0.9949	0.5182	22.825

Source: Elaborated by the authors (2018).

The DW test showed dependence in the errors for LSM-I, LSM-S, and OS+LSM-I treatments in the two fitted models (TABLE 1), and for OS+LSM-S, OS-I and OS-S treatments in the Stanford & Smith Model, i.e., the hypothesis that the errors are independent was rejected, and this correlation was considered in the study. Thus, fittings with first order autoregressive errors AR(1) were presented to explain the dependence of the residues of these treatments. Hess and Schmidt (1995) found correlation among errors in soil respiration data. Pereira et al. (2005) compared eight nonlinear models to predict the amount of mineralized nitrogen in the soil and found residual dependence for two models and considered the autoregressive errors of order AR(p) in the fitted models.

R_{aj}^2 values higher than 0.97 were obtained for the two models fitted to the C mineralization of the treatments, indicating a good fit to the data. In the fit of five nonlinear models to C mineralization of organic residues, Sleutel et al. (2005) found R_{aj}^2 higher than 0.97 and that the models satisfactorily described the data. The Cabrera model presented lower residual standard deviation, indicating better fit for this model, except for the SLB-I and SLB-S treatments. According to Sousa et al. (2014), the lower the residual standard deviation the better the fitting, since the evaluator is proportional to the sum of the squares of the errors.

The predicted value of mineralized C over time was similar for the two models (FIGURES 1 and 2), and their dynamics were similar when comparing the residues incorporated into the soil (FIGURE 1) with those applied to the soil surface (FIGURE 2). Paula et al. (2013) evaluated organic residues incorporated into the soil and applied on soil surface in a field experiment and they found the incorporated residues presented no abrupt increase in mineralized C, which was found when the residues were applied to the soil surface. This is a similar result to that found in the present study and it can be explained by the fact that the experiment was performed in a laboratory, where the experiment conditions are more controlled and measurements are more precise.

Negative values were estimated for the mineralization rate parameter (k_0) in the LSM-S, OS+LSM-I, SLB-I, and SLB-S treatments, and the confidence intervals contained the value zero (TABLE 2). According to Zeviani et al. (2012), this result indicates the underestimation of a zero parametric value, indicating the C mineralization pattern of these residues does not present two mineralizable C fractions. The Stanford & Smith Model was the most appropriate to describe the treatments, except for the LSM-S, which also did not meet the assumption of variance homogeneity for this model. These treatments had substances that undergo exponential mineralization. Therefore, none of the two evaluated models were adequate to describe the LSM-S treatment.

According to Oliveira et al. (2013), the potentially mineralizable carbon (C_0) is an important attribute because it can be used to predict the availability of C over time. The SLB-I and SLB-S treatments presented lower percentage of mineralized C than the other treatments, since there was no overlap in the confidence interval of the C_0 parameter (TABLE 2) between the SLB and the other treatments. This result corroborates those found by Giacomini et al. (2008) at the end of 80 days of incubation in these treatments; they attributed this result to the difference in the chemical composition of the materials used. The incorporation of the treatments into the soil did not increase the percentage of mineralized C in these materials, since there was overlap between the C_0 (TABLE 2) of the treatments with incorporation and that of treatments applied to the soil surface. According to Giacomini et al. (2008), this result indicates the organic residues present a resistant C fraction to decomposition, regardless of the contact of the C of the residues with soil microorganisms.

The potential of mineralized C (C_0) (26.8% to 72.87%) and the C mineralization rates (k) (0.0172 to 0.0733 day⁻¹) of the treatments varied, denoting dependence on the type of incubated organic residue (TABLE 2). The highest estimated C_0 was found for the OS-I treatment and the lowest

for SLB-S and SLB-I. Paula et al. (2013) evaluated five organic residues incorporated and applied to the soil surface in a 360-day field experiment and found different mineralization rates (k) by fitting the Stanford & Smith Model, showing the dependence on the residue and its incorporation into the soil. In addition, Martines et al. (2006) found different k when applying sludge to soils of different textural classes. The comparison of the confidence intervals of C_0 for the SLB-I and SLB-S treatments showed no difference between their potentially mineralizable carbon, although the carbon mineralization rate of the SLB-I treatment was higher and, consequently, the half-life. This is also shown in Figure 3 by the confidence interval of the half-life, which presented no intersection.

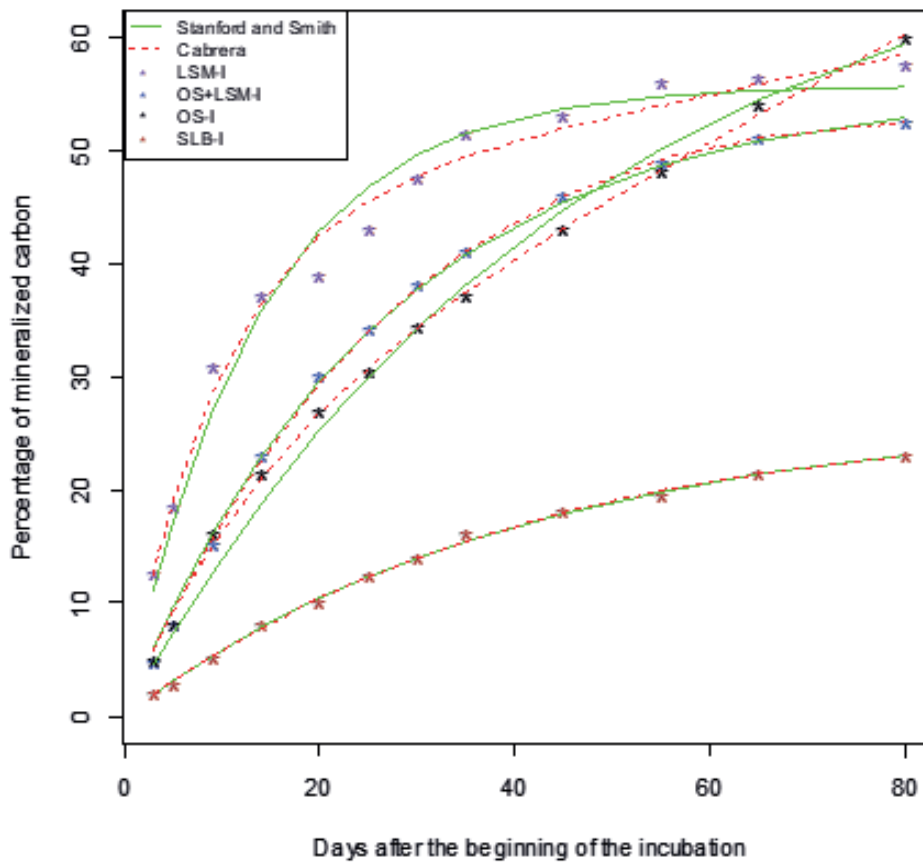
Table 2. Estimates for the parameters of the Stanford & Smith and Cabrera Models, and half-life ($t_{1/2}$), and their respective asymptotic confidence intervals of 95% (LL= lower limit and UL = upper limit), in the fitting of percentage of mineralized carbon of the treatments.

	Stanford & Smith				Cabrera		
	LL	estimates	UL		LL	estimates	UL
soil + incorporated liquid swine manure							
C_0	51.8833	55.8138	59.7443	C_1	37.1333	44.4690	51.8587
k	0.0558	0.0733	0.0908	v	4.6077	6.6868	8.7659
ϕ	-0.0014	0.5787	1.1588	k_0	0.0537	0.1759	0.2981
$t_{1/2}$	7.6	9.5	12.4	ϕ	-0.3658	0.3615	1.0888
soil + liquid swine manure on surface							
C_0	58.2791	58.8790	59.4780	C_1	39.4991	49.7821	60.0651
k	0.0504	0.0543	0.0583	v	6.8866	9.8597	12.8328
ϕ	-0.0872	0.5011	1.0895	k_0	-0.0343	0.1129	0.2602
$t_{1/2}$	11.9	12.8	13.8	ϕ	-0.3541	0.3930	1.1401
soil + incorporated oat straw							
C_0	63.3118	72.8781	82.4445	C_1	19.4944	23.1886	28.9643
k	0.0158	0.0212	0.0266	v	7.6312	9.8811	13.1490
ϕ	0.1316	0.7641	1.3967	k_0	0.3854	0.4651	0.5230
$t_{1/2}$	26.1	32.7	43.8				
soil + oat straw on surface							
C_0	52.0159	57.0409	62.0658	C_1	22.6698	26.5450	32.2808
k	0.0217	0.0265	0.0314	v	9.6029	11.8086	14.8078
ϕ	-0.3205	0.6438	1.6081	k_0	0.2333	0.3073	0.3629
$t_{1/2}$	22.1	26.1	32.0				
soil + incorporated oat straw + incorporated liquid swine manure							
C_0	52.9276	55.5267	58.1258	C_1	43.6873	70.8529	98.0185
k	0.0333	0.0380	0.0428	v	14.9284	22.7089	30.4894
ϕ	0.0473	0.6658	1.2843	k_0	-0.4047	-0.1526	0.0995
$t_{1/2}$	16.2	18.2	20.8	ϕ	-0.0521	0.5801	1.2124
soil + oat straw on surface + liquid swine manure on surface							
C_0	56.6644	59.3018	61.9392	C_1	61.6897	92.4257	174.0935
k	0.0304	0.0340	0.0376	v	21.2645	29.4254	45.8067
ϕ	-0.1505	0.5096	1.1697	k_0	-0.8545	-0.2961	-0.0181
$t_{1/2}$	18.4	20.4	22.8				

	Stanford & Smith				Cabrera		
	LL	estimates	UL		LL	estimates	UL
soil + incorporated swine litter bedding							
C_0	25.7004	26.8000	28.0455	C_1	17.5380	29.4998	88.0363
k	0.0226	0.0246	0.0266	v	19.2540	30.2711	62.7230
$t_{1/2}$	26.1	28.2	30.7	k_0	-0.3628	-0.0222	0.0934
soil + swine litter bedding on surface							
C_0	27.8735	31.0525	35.4300	C_1	-943.2921	134.5774	1212.4469
k	0.0141	0.0172	0.0206	v	-347.7380	98.1410	482.2150
$t_{1/2}$	33.7	40.2	49.2	k_0	-3.3426	-0.4386	2.4654

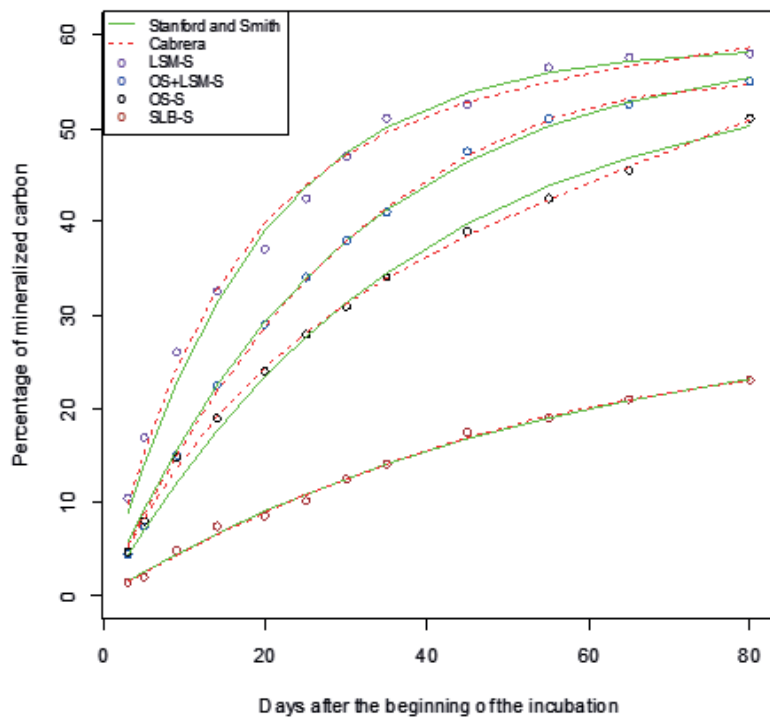
Source: Elaborated by the authors (2018).

Figure 1. Models fitted for the percentage of mineralized carbon to the organic residues incorporated into the soil as a function of the incubation time.



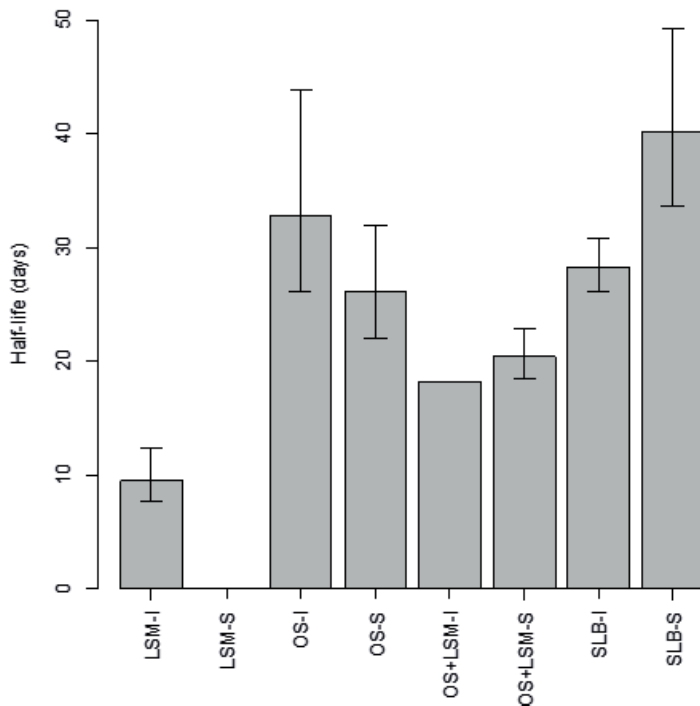
Source: Elaborated by the authors (2018).

Figure 2. Models fitted for the percentage of mineralized carbon to the organic residues on the soil surface as a function of the incubation time.



Source: Elaborated by the authors (2018).

Figure 3. Half-life of the potentially mineralizable carbon of organic residues incubated for 80 days, considering the Stanford & Smith Model. Vertical bars indicate the confidence interval for the half-life.



Source: Elaborated by the authors (2018).

The half-life of the potentially mineralizable carbon of the organic residues varied, considering the Stanford & Smith Model. This model was more suitable for the OS+LSM-I, SLB-S, and SLB-I treatments, which presented half-life of the potentially mineralizable carbon of 18.2, 28.2 and 40.2 days, respectively (TABLE 2). The higher mineralization of C at the beginning of the incubation is due to the consumption of the easily degradable carbon, leaving less susceptible organic fractions to decomposition in the soil (PULROLNIK, 2009); this dynamic was observed by several authors (ANDRADE et al., 2015; FERNANDES et al., 2011; MANTOVANI et al., 2006).

According to the Akaike Information Criterion (AIC), the LSM-I, OS+LSM-S, OS-I, and OS-S treatments presented the lowest values for the Cabrera Model, which was the most indicated to describe the studied phenomenon. Thus, the LSM-I, OS+LSM-S, OS-I, and OS-S treatments had mineralizable carbon substances with exponential behavior and more resistant substances with constant mineralization. The comparison of the confidence intervals for the easily mineralizable carbon (C_1) (TABLE 2) showed intersection for the OS-I and OS-S treatments, indicating no difference between the easily mineralizable carbon of the oat straw incorporated into the soil and that of the oat straw on the soil surface. However, the comparison of the confidence intervals of the parameter k_0 showed no intersection in the confidence interval, indicating the more resistant C in the straw is more rapid mineralized when the straw is incorporated into the soil. This result confirms those found by Campos et al. (2011) in a field experiment; they found higher C mineralization rate of oat residues with conventional tillage system than with no tillage system.

Considering the Cabrera Model, the half-life of the easily mineralizable C of the LSM-I, OS+LSM-S, OS-I, and OS-S treatments were 6.6, 29.4, 9.8, and 11.8 days, respectively (TABLE 2).

Conclusions

In general, the mineralization of the carbon of swine manure and oat straw over time was described by the Cabrera and Stanford & Smith nonlinear models.

The Cabrera Model was more suitable to detail the C mineralization in four treatments (soil + incorporated liquid swine manure; soil + oat straw on soil surface + liquid swine manure on soil surface; soil + incorporated oat straw; and soil + oat straw on surface), indicating that these treatments presented substances of mineralizable C with exponential dynamic and more resistant substances with constant mineralization. The half-life of the easily mineralizable C of these treatments were 6.6, 29.4, 9.8, and 11.8 days, respectively.

The Stanford & Smith Model was better to describe the C mineralization of three treatments (soil + incorporated oat straw + incorporated liquid swine manure; swine litter bedding on soil surface; and incorporated swine litter bedding), suggesting these treatments presented substances that are mineralized exponentially. These treatments presented half-life of the easily mineralizable C of 18.2; 28.2, and 40.2 days, respectively.

None of the two evaluated models adequately described the C mineralization of the treatment soil + liquid swine manure applied to the soil surface.

Acknowledgements

The authors thank the Brazilian Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel (CAPES) for granting doctoral scholarship to the first author.

Descrição da mineralização do carbono de dejetos de suíno e palha de aveia no solo por modelos não lineares

Resumo

Uma forma viável para reciclagem dos resíduos de animais em confinamento é no manejo agrícola. As substâncias que compõem o resíduo orgânico altera a dinâmica de decomposição da matéria orgânica no solo. O conhecimento das curvas de mineralização do carbono permite buscar melhorias na qualidade do solo e conseqüentemente na produtividade das culturas. O Modelo Stanford & Smith é o mais usado para descrever a mineralização de C de resíduos orgânicos no solo. O Modelo Stanford & Smith considera que o resíduo orgânico é composto por substâncias que são mineralizadas exponencialmente. O Modelo Cabrera considera duas frações, uma composta por substâncias que são mineralizadas exponencialmente e outra composta por substâncias mais resistentes que são mineralizadas constantemente. Objetivou-se, neste trabalho, comparar modelos não lineares que descrevem a mineralização do carbono, considerando resíduos na superfície ou incorporados ao solo. Os dados analisados correspondem aos resultados de um experimento com palha de aveia, dejetos líquidos de suínos e cama sobreposta de suínos. Foram utilizados os Modelos Stanford & Smith e Cabrera, considerando estrutura de erros autorregressivos AR(1) quando necessário. Os ajustes foram comparados utilizando o critério de informação de Akaike (AIC). O Modelo Cabrera foi mais adequado para descrever a mineralização de carbono em quatro tratamentos (solo + dejetos líquidos incorporado, solo + palha em superfície + dejetos líquidos em superfície, solo + palha incorporada e solo + palha em superfície) e o Modelo Stanford & Smith foi melhor em três tratamentos (solo + palha incorporada + dejetos líquidos incorporado, cama sobreposta em superfície e cama sobreposta incorporada). Nenhum dos modelos descreveu o tratamento solo + dejetos líquidos na superfície.

Palavras-chave: Decomposição. Tempo de meia-vida. Modelo Stanford & Smith. Modelo Cabrera.

Referências

ALVES, G. D.; SAMPAIO, E. V. S. B.; SALCEDO, I. H.; SILVA V. M. Mineralization potential of C and N in twenty soils from Pernambuco, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, n. 2, p. 245-256, 1999. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v23n2/08.pdf>>. Acesso em: 06 set. 2015.

ANDRADE, C. A.; SILVA, L. F. M.; PIRES, A. M. M.; COSCIONE, A. R. Mineralization of carbon and nitrogen in soil after successive applications of sewage sludge. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 5, p. 536-544, 2013. DOI:10.1590/S0100-204X2013000500010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2013000500010&lng=pt&nrm=i>. Acesso em: 11 fev. 2017.

ANDRADE, C. A.; BIBAR, M. P. S.; COSCIONE, A. R.; PIRES, A. M. M.; SOARES, A. G. Mineralization and effects of poultry litter biochar on soil cation exchange capacity. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 5, p. 407-416, 2015. DOI:10.1590/S0100-204X2015000500008. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-204X20150005000407&script=sci_abstract>. Acesso em: 06 set. 2017.

ANDRADE, L. C.; ANDREAZZA, R.; CAMARGO, F. A. O. Soil microbial activity under wastewater treatment plant sludge doses from an industrial landfill. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 46, n. 2, p. 267-272, 2016. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-84782015005040871&script=sci_abstract>. Acesso em: 06 set. 2017.

BARRETO, P. A. B.; RODRIGUES, E. F. G.; RODRIGUES, A. C. G.; BARROS, N. F.; ALVES, B. J. R.; FONSECA, S. Carbon and nitrogen mineralization in soils under an eucalyptus plantation chronosequence. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 3, p. 735-745, 2010. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/262651835_Carbon_and_nitrogen_mineralization_in_soils_under_an_eucalyptus_plantation_chronosequence>. Acesso em: 06 set. 2017.

CABRERA, M. L. Modeling the flush of nitrogen mineralization caused by drying and rewetting soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 57, n. 1, p. 63-66, 1993.

CAMPOS, B. C.; AMADO, T. J. C.; TORNQUIST, C. G.; NICOLOSO, R. S.; FIORIN, J. E. Long-term C-CO₂ emissions and carbon crop residue mineralization in an oxisol under different tillage and crop rotations systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 3, p. 819-832, 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832011000300017>. Acesso em: 06 set. 2017.

CARNEIRO, A. P. S.; MUNIZ, J. A.; CARNEIRO, P. L. S.; MALHADO, C. H. M. M.; MARTINS FILHO, R.; SILVA, F. F. Identity of nonlinear models to compare growth curves of the cattle breed Tabapuã. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, n. 1, p. 57-62, 2014. DOI: 10.1590/S0100-204X2014000100008. Disponível em: <<https://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/view/18183>>. Acesso em: 04 ago. 2017.

COSTA, M. S. S. M.; COSTA, L. A. M.; DECARLI, L. D.; PELÁ, A.; SILVA, C. J.; MATTER, U. F.; OLIBONE, D. Composting of slaughterhouse solid waste. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 1, p. 100-107, 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1415-43662009000100015&lng=en&nrm=1&tlng=en>. Acesso em: 06 set. 2017.

DRAPER, N. R.; SMITH, H. **Applied regression analysis**. 3. ed., reprint. New York: J. Wiley, p. 505-565, 2014.

FERNANDES, A. H. B. M. F.; CARDOSO, M. A.; SOUZA, R. A. C.; FERNANDES, F. A.; SOARES, M. T. S.; CRISPIM, S. M. A.; GALVANI, F.; LISITA, F. O. **Nitrificação e mineralização de carbono em solos tratados com dejetos de suínos biodigeridos**. Corumbá, MS: Embrapa Pantanal, p. 1-15, 2011.

FERNANDES, T. J.; PEREIRA, A. A.; MUNIZ, J. A.; SAVIAN, T. V. Selection of nonlinear models for the description of the growth curves of coffee fruit. **Coffee Science**, v. 9, n. 2, p. 207-215, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.25186/cs.v9i2.618>>. Acesso em: 5 mar. 2017.

GIACOMINI, S. J.; AITA, C.; MIOLA, E. C. C.; RECOUS, S. Carbon mineralization of straw and pig manure with and without incorporation in soil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. special, p. 2661-2668, 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832015000501428&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 29 jan. 2017.

HESS, T. F.; SCHMIDT, S. K. Improved procedure for obtaining statistically valid parameter estimates from soil respiration data. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 27, n. 1, p. 1-7, 1995. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/003807179400166X>>. Acesso em: 28 nov. 2016.

MANTOVANI, J. R.; FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P.; BARBOSA, J. C.; FREIRIA, A. C. Carbon and nitrogen mineralization in an ultisol fertilized with urban waste compost. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 4, p. 677-684, 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832006000400008>. Acesso em: 06 set. 2017.

MARTINES, A. M.; ANDRADE, C. A.; CARDOSO, E. J. B. N. Mineralization of the organic carbon in soils treated with tannery sludges. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 7, p. 1149-1155, 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2006000700011&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 28 nov. 2016.

MERCANTE, F. M. **Os microorganismos do solo e a dinâmica da matéria orgânica em sistemas de produção de grãos e pastagem**. Dourados, MS: Embrapa Agropecuária Oeste, p. 1-14, 2001.

MOREIRA, F. M. S, SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e Bioquímica do Solo**. 2. ed. Lavras: Editora da UFLA, p. 1-729, 2006.

MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. M. C. **Análise de séries temporais**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, p. 110-119, 2006.

NUNES, D. A. D.; RODRIGUES, E. F. G.; BARRETO, P. A. B.; RODRIGUES, A. C. G.; MONROE, P. H. M. Carbon and nitrogen mineralization in soil of leguminous trees in a degraded pasture in northern Rio de Janeiro, Brazil. **Journal of Forest Research**, v. 27, n. 1, p. 91-99, 2016. DOI: 10.1007/s11676-015-0164-3. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s11676-015-0164-3#citeas>>. Acesso em: 06 set. 2017.

OLIVEIRA, W. J.; SILVA, C. A.; MUNIZ, J. A.; SAVIAN, T. V. Nitrogen mineralization in latosols fertilized with organic residues. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 3, p. 715-725, 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-06832013000300018&script=sci_abstract>. Acesso em: 06 set. 2017.

PAULA, J. R.; MATOS, A. T.; MATOS, M. P.; PEREIRA, M. S.; ANDRADE, C. A. Carbon and nitrogen mineralization of wastes applied to soil under field conditions. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 6, p. 1729-1741, 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832013000600029&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 12 nov. 2017.

PEREIRA, J. M.; MUNIZ, J. A.; SILVA, C. A. Nonlinear models to predict nitrogen mineralization in an oxisol. **Scientia Agricola**, v. 62, n. 4, p. 395-400, 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-90162005000400014&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 06 set. 2017.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de Estatística Experimental**. 14. ed. Editora F. Pimentel-Gomes, p. 1-451, 2000.

PINHEIRO, J.; BATES, D.; DEBROY, S.; SARKAR, D. nlme: linear and nonlinear mixed effects models. **R package version 3**. p. 1-122. 2015. Disponível em: <URL:<http://CRAN.R-project.org/package=nlme>>. Acesso em: 10 fev. 2016.

PINTO, M. A.; FABBRIS, C.; BASSO, C. J.; SANTI, A. L.; GIROTTO, E. Swine slurry application and soil management on double-cropped oat/maize. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 44, n. 2, p. 205-212, 2014. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1983-40632014000200002>. Acesso em: 06 set. 2017.

PULROLNIK, K. **Transformações do carbono no solo**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, p. 1-36, 2009.

R CORE TEAM. **R**: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing Viena: 2015. Disponível em: <http://www.r-project.org>.

RIBEIRO, T. D.; MATTOS, R. W. P.; MORAIS, A. R.; MUNIZ, J. A. Description of the growth of Pequi fruits by nonlinear models. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 40, n. 4, p. 1-11, 2018. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-29452018000400705>. Acesso em: 20 dez. 2018.

RIBEIRO, T. D.; SAVIAN, T. V.; FERNANDES, T. J.; MUNIZ, J. A. The use of the nonlinear models in the growth of pears of “Shinseiki” cultivar. **Ciência Rural**, v. 48, n. 1, p. 1-7, 2018. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782018000100202>. Acesso em: 20 dez. 2018.

SILVA, A. A.; LANA, A. M. Q.; LANA, R. M. Q.; COSTA, A. M. Fertilization with swine waste manure: the influence of chemical characteristics in *Brachiaria Decumbens* and changes in the soil. **Engenharia Agrícola**, v. 35, n. 2, p. 254-265, 2015. DOI:10.1590/1809-4430. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162015000200254>. Acesso em: 06 set. 2017.

SILVA, B. V. N.; ANDRADE PINTO, L. V.; Potential use of the sewage sludge as organic manuring in covering forestation native arboreal species planted in area degraded by intensive pasturing. **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre, v. 2, n. 1, p. 50-56, abril, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.18406/2316-1817v2n12010251>>. Acesso em: 18 mar. 2017.

SILVA, E. M.; SILVEIRA, S. C.; RIBEIRO, T. D.; MUNIZ, J. A. Adjustment of the decomposition of sewage sludge and oat straw by nonlinear models. **Revista Agrogeoambiental**, v. 11, n. 2, 2019.

SILVEIRA, S. C.; MUNIZ, J. A.; SOUSA, F. A.; CAMPOS, A. T. Non-linear models adjusted to the accumulated production of biogas originating from swine deep bedding. **Revista Agrogeoambiental**, v. 10, n. 3, p. 91-103, 2018. Disponível em: <<https://agrogeoambiental.ifsuldeminas.edu.br/index.php/Agrogeoambiental/article/view/1168/pdf>>. Acesso em: 26 nov. 2018.

SLEUTEL, S.; NEVE, S.; ROIBÁS, M. R. P.; HOFMAN, G. The influence of model type and incubation time on the estimation of stable organic carbon in organic materials. **European Journal of Soil Science**, v. 56, n. 4, p. 505-514, 2005. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1365-2389.2004.00685.x>>. Acesso em: 23 nov. 2016.

SOUSA, I. F.; KUNZLE, J. E.; MUNIZ, J. A.; GUIMARÃES, R. M.; SAVIAN, T. V.; MUNIZ, F. R. Fitting nonlinear autoregressive models to describe coffee seed germination. **Ciência Rural**, v. 44, n. 11, p. 2016-2021, 2014. DOI: 10.1590/0103-8478cr20131341. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782014001102016>. Acesso em: 06 set. 2017.

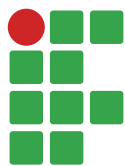
STANFORD, G.; SMITH, S. J. Nitrogen mineralization potentials of soil. **Soil Science Society of America Journal**, v. 36, n. 3, p. 465-471, 1972.

ZEVIANI, W. M.; SILVA, C. A.; OLIVEIRA, W. J.; MUNIZ, J. A. Non linear models to potassium release from animals manure in Latosols. **Ciência Rural**, v. 42, n.10, p. 1789-1796, 2012. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782012001000012&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 23 nov. 2016.

ZHOU, X.; CHEN, C.; LU, S.; RUI, Y.; WU, H.; XU, Z. The short-term cover crops increase soil labile organic carbon in southeastern Australia. **Biology and Fertility of Soils**, v. 48, n. 2, p. 239-244, 2012. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s00374-011-0594-9>>. Acesso em: 06 set. 2017.

Received: January 22, 2018

Accepted: April 12, 2018



Toxicological and anatomical study of vegetative organs of *Anthurium maricense* Nadriz and Mayo (Araceae)

André Luis de Alcantara Guimarães¹

Patrique Riepe do Tanque²

Alexandre dos Santos Pyrrho³

Ana Cláudia de Macêdo Vieira⁴

Abstract

Among other taxa of Araceae, the genus *Anthurium* is the largest of the family and one of the most important taxa. Some species of this genus have been used as a condiment, and its plants as ornaments and medicines for over a century. *Anthurium maricense* is an endemic species from “restingas” of Rio de Janeiro, Brazil, and it is used as ornamental and medicinal plant. This paper aimed an anatomical and toxicological study of its vegetative organs. *A. maricense* has subterranean rhizome, adventitious roots and complete leaves. The anatomical features of vegetative organs are similar to other species of Araceae and genus *Anthurium*, especially the velamen in roots and calcium oxalate crystals in all organs. Under scanning electron microscopy (SEM), longitudinal grooves were observed in the raphides. For toxicological analyses, whole (with crystals) and centrifuged (free from crystals) fractions of the juices of each organ were administered via mouthwash and plantar inoculation to groups of five mice. The formation of edema was observed at 1, 3, 6, 24 and 96 hours and 7, 14, 21 and 28 days. The oral inoculations presented negative results for all groups, without edema. The plantar inoculations showed differing results: with centrifuged juices, mild edema formed but regressed; with whole juices, some animals presented severe edema. Our results indicated distribution and morphology of raphides and diverse chemical substances were related to the edematogenic process. *A. maricense* may potentially induce more chronic edema if compared to other species of Araceae.

Keywords: Anatomy. Crystals. Restinga. Toxicity.

Introduction

The use of ornamental plants in urban areas is based on aesthetic and habit characteristics and their adaptation, availability and costs to obtain. Nevertheless, toxicological aspects of these plants are seldom studied or even considered before their use as ornamental plants. Additionally, most of the human victims are children under ten years old, which represent more than 63 % of all registered

1 Universidade Federal do Rio de Janeiro, Laboratório de Farmacobotânica, Faculdade de Farmácia. andreguimaraes@pharma.ufrj.br.

2 Universidade Federal do Rio de Janeiro, Laboratório de Farmacobotânica, Faculdade de Farmácia. patriqueriepe@gmail.com.

3 Universidade Federal do Rio de Janeiro, Laboratório de Imunoparasitologia e Análises Toxicológicas, Faculdade de Farmácia. pyrrho@pharma.ufrj.br.

4 Universidade Federal do Rio de Janeiro, Laboratório de Farmacobotânica, Faculdade de Farmácia. acmvieira@pharma.ufrj.br. Av. Carlos Chagas Filho, 373, CCS, Bloco A, 2º andar, sala 22, Cidade Universitária, Rio de Janeiro, Brasil, CEP: 21.941-902.

poisoning cases in Brazil (BRASIL, 2016). The lack of knowledge regarding toxicological aspects of plants in private or public gardens is the main factor for accidental poisonings (SCHVARTSMAN, 1992; MATOS et al., 2011; BOCHNER et al., 2013). Furthermore, the indiscriminate use of ornamental plants as a therapeutic resource in folk medicine, with no concern regarding their possible toxicity, reinforces the importance of studying the toxicological traits of these plants (LORENZI; MATOS, 2008; MATOS et al., 2011; BOCHNER et al., 2012).

Araceae is a family with 109 genera and 2.830 species distributed worldwide (JUDD et al., 2009). Approximately 35 genera and 400 species occur in Brazil (SOUZA; LORENZI, 2005). Growth forms and habitat variety are greater than in any other monocot family, including vines or large herbs in tropical habitats (KEATING, 2002). Species of *Anthurium*, *Alocasia*, *Caladium*, *Colocasia*, *Dieffenbachia*, *Monstera*, *Philodendron* and *Spathiphyllum* are often used as ornamental and mystic plants in public and home gardens in Brazil, despite being toxic for humans and pets (SILVA; ANDRADE, 2005; PASA et al., 2005; FELIPPE, 2009). Some original studies identified the mechanism of intoxication of two common ornamental plants, *Dieffenbachia picta* and *D. seguine*, due to a large number of poisoning cases (RIZZINI; OCCHIONI, 1957; DRACH; MALONEY, 1963). Since then, there have been reports in the scientific literature of accidental poisonings with Araceae species involving, in most cases, children and pets, which highlights the importance of proper identification of toxicological properties of such species.

Among other taxa of Araceae, the genus *Anthurium* is the largest of the family and one of the most important taxa, with approximately 900 species (JUDD et al., 2009), of which several new species were registered in Brazil (COELHO; MAYO, 2000; COELHO, 2006; COELHO; CATHARINO, 2008; COELHO, 2010; TEMPONI; COELHO, 2011; GONÇALVES, 2012). The species of this genus are distributed in the American tropics, from northern Argentina to Mexico, and it consists of terrestrial or epiphytic rain forest plants (DAHLGREN et al., 1985). Many aspects of the biology of *Anthurium* species have been investigated, including taxonomy, chemistry (AQUINO et al., 2001), ecology and anatomy (LORENZO et al., 2010; POLI et al., 2012). Nevertheless, to the best of our knowledge, toxicological aspects of *Anthurium* remain mostly unknown (TWARDOWSCHY et al., 2007).

Some species of this genus have been used in traditional medicine for over a century in the tropical parts of the Americas and the West Indies for the treatment of different diseases (JOLY et al., 1987; ZAMORA-MARTÍNEZ; POLA, 1992), some of them associated with immunostimulant activity. In the northeastern Brazil, *Anthurium affine* Schott. has been used in folk medicine for cardiac problems, circulatory diseases and diabetes (AGRA et al., 2008). Native tribes in northwestern South America also used parts of some species of *Anthurium* and other genera as female contraceptives (DUKE; VASQUEZ, 1994). In Brazil, Corrêa (1984) registered the traditional use of several species of this genus as a condiment and as ornamental and medicinal plants for over a century. The author also highlighted that all species of the genus were commonly misdiagnosed as "*Anthurium*" in folk medicine and other traditional uses (CORRÊA, 1984). This confusing popular designation to all species of the genus is dangerous, especially in folk medicine, since different species may be erroneously used as medicinal plants.

Anthurium maricense Nadruz and Mayo is a psammophyte, which grows on sandy substrates in restingas of Rio de Janeiro State (COELHO; MAYO, 2000). This species exhibit leaves and reproductive organs with extensive ornamental value. However, to the best of our knowledge, there is no record of any study investigating the anatomy and toxicity of this species or even other species of *Anthurium*. Thus, to bridge this gap, the aim of our study is to evaluate the toxicity of vegetative organs of *A. maricense*. Additionally, we also studied the anatomy of these organs to characterize

the structures related to the mechanism of intoxication and provide additional characters to aid the identification of this species.

Material and methods

Plant material

The botanical material and field data were obtained in Barra de Maricá Environmental Protection Area, in Rio de Janeiro State, Brazil. Specimens of *A. maricense* with roots, stems and leaves were collected in January 2013. Vouchers were properly cataloged and deposited in the Herbarium of the Institute of Biology (RFA) at the Federal University of Rio de Janeiro (UFRJ), under registrations RFA 34605 and RFA 34606.

Morphology and anatomy

Samples of vegetative organs were fixed in formalin (LILLIE, 1948 apud CLARK, 1981) or FAA₅₀ (BERLYN; MIKSCHE, 1976). For anatomical studies, we used plant material fixed in FAA₅₀ (KRAUS; ARDUIN, 1997). Transversal sections were obtained from samples of roots, stems and leaves. The fixed samples were embedded in polyethylene glycol 1500 (ISOFAR, Rio de Janeiro, Brazil) in triplicates, and then cut into 20 μm thick sections with a rotative microtome (KRAUS; ARDUIN, 1997) and stained with 1% astra blue and 1% safranin (9:1, v/v) (BUKATSCH, 1972). The root fragments did not resist the embedding process. For this reason, transversal sections were obtained from samples located about 3 cm from root apex with a Ranvier microtome. Additionally, paradermal sections were also obtained from samples of leaves with a razor blade. The terminology used in the descriptions follows the proposals of Radford et al. (1974) and Keating (2002). All anatomical analyses and imaging studies were performed using optical microscopes Olympus CH30RF100 connected to photographic equipment Olympus PM-PBK-3 with Kodak Gold ASA 100 film and Zeiss Axio Scope A1 with polarized light.

The histochemical analysis was performed in sections of fresh material with the aid of Ranvier microtome for the detection of lipids, starch and evaluation of the chemical nature of the crystals. For lipid detection, the sections were immersed in a saturated solution of Sudan IV (CI 26100) in 70° GL ethanol (SASS, 1951). For detection of phenolic compounds, the sections were immersed in a solution of ferric chloride (JOHANSEN, 1940). For starch detection, the sections were immersed in Lugol reagent (iodine potassium iodide) for 5 min (JOHANSEN, 1940). For detection of proteins, the sections were immersed in a solution of mercury chloride 1% and Bromophenol blue O, 1% (MAZIA et al., 1953). For the demonstration of calcium oxalate crystals, we used the Pizzolato method (AgNO_3 - H_2O_2) (SILVER; PRICE, 1969). For the controls, lipids were extracted with methanol: chloroform (1:1, v/v), starch with salivary amylase and phenolic compounds with 5% potassium dichromate for 24 h (REEVE, 1959). Blank sections were used for comparative analysis.

Scanning Electron Microscopy (SEM) images were made with samples previously fixed in paraformaldehyde and glutaraldehyde in phosphate buffer (KARNOVSKY, 1965), dehydrated in ethanolic series and critical point dried with carbon dioxide at 73 atm and 35 °C. The samples were mounted on metal stubs with double-sided adhesive tape and sputter coated with 30-35 nm of gold at 6.10^{-2} atm (SILVEIRA, 1989). Specimens were observed in a Jeol-5310 microscope.

For the observation of the crystals in SEM, fragments of each organ were submitted to a maceration process (FRANKLIN, 1945). The macerate was centrifuged at 2600G for 5 minutes (CARNEIRO et al., 1989), and the precipitate was kept in Ethanol 100 % for later kiln drying without airflow at 50 °C. The samples were mounted for observation as previously described.

Toxicological analysis

In the pharmacological tests for toxicity in animals, we used juices from the fresh vegetative organs. Parts of each organ were triturated in a food processor and then pressed and cloth filtered. The juices were used in two fractions, whole and centrifuged at 3.800G for 5 minutes to remove the crystals. Each fraction of the juices from the 3 organs (root, stem and leaf) was administered once to a group of 5 animals (female Swiss mice, 8 weeks old and weighing 20 ± 2 g) using an insulin syringe, in two ways: mouthwash (100 μ L, without needle) and plantar inoculation (50 μ L, with needle). The control was made with sterile 0,85 % NaCl solution. After the mouth washings, the animals received water and food ad libitum only one hour after the procedure. We observed the formation of edema to evaluate the toxicity of each juice. All administrations were made on the same day of the preparation of the juices.

For classification of the edema, a level chart was created, due to the expressivity of results: level I (light swelling, discrete color change); level II (bigger swelling than level I, with reddening); and level III (great swelling, with darker bruising and significant increase in paw size). The follow-up was documented at 1, 3, 6, 24 and 96 hours and 7, 14, 21 and 28 days after the inoculations, in order to register the acute and chronic toxicity (BRITO, 1994). The experiments with animals were conducted according to the ethical protocol by the Ethics Committee for Animal Use of the Health Sciences Center (CCS-UFRJ - protocol number DBFCICB032).

Results and discussion

Results

A. maricense grows in “restingas”, in open areas and within shrub vegetation. It exhibits a thick rhizome with adventitious roots and dark green leaves with long leaf blade, petiole and sheath. The leaves present lanceolate shape, obtuse base, entire edge and an acute apex. The leaf veins are reticulated, and the midrib is very distinct. It has spathe inflorescences with bisexual flowers, and its fruits are reddish-orange berries, typical of the species. Figure 1 shows a fertile specimen in its natural habitat.

Figure 1. *Anthurium maricense* in its natural environment, the environmental protection area of restinga of Barra de Maricá, Rio de Janeiro State, Brazil.

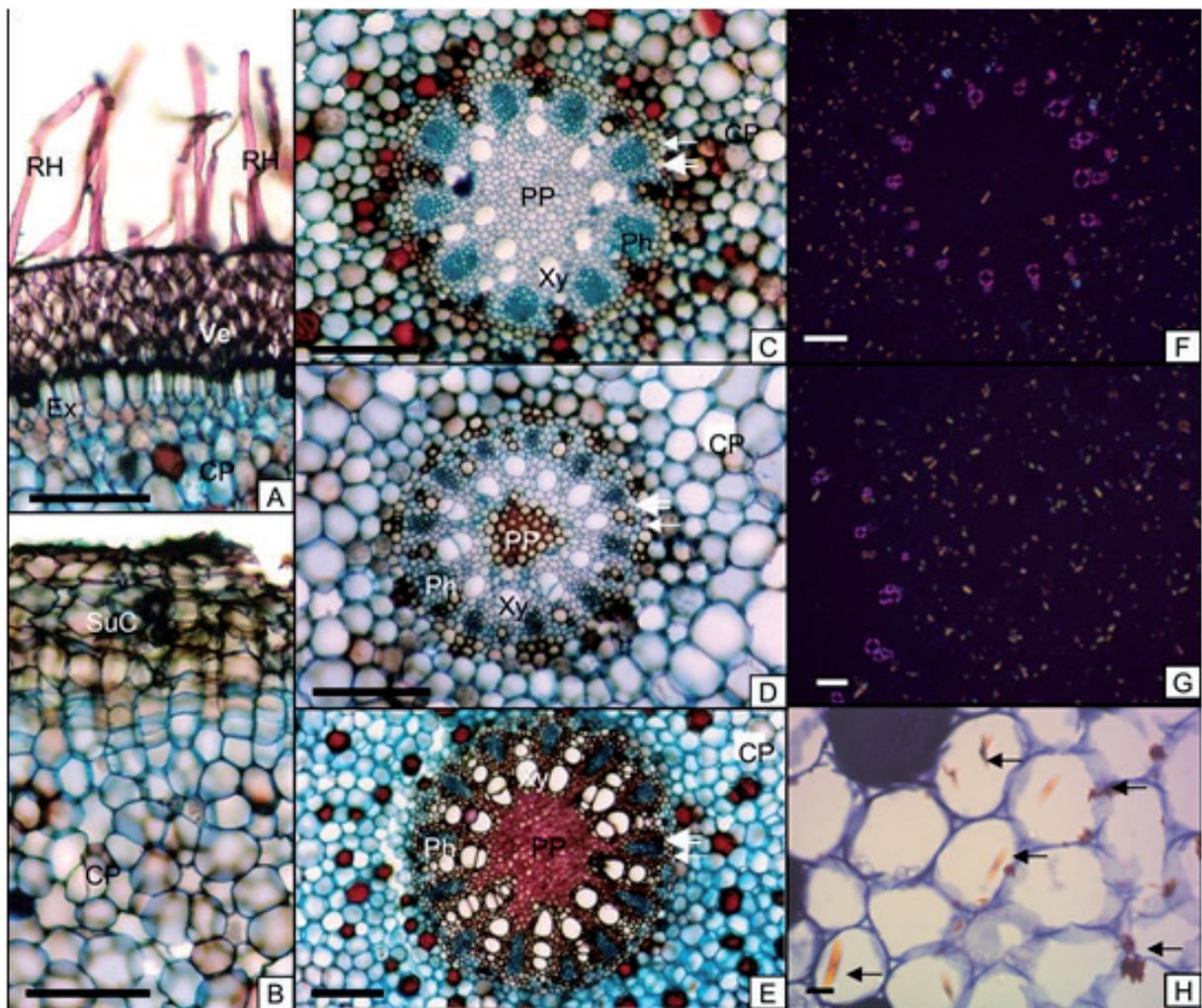


Source: Vieira (2013).

Anatomical description

The species has adventitious roots originated from the rhizome. They are long and light brown colored. In the portions closer to the apex, the coating tissue is the velamen (FIGURE 2A), with three to five layers of cells with helical thickening of their walls. Unicellular root hairs were found, originated from the outermost layer of the velamen (FIGURE 2A). Exodermis is found beneath velamen. It consists of oblong to columnar cells, thin-walled with Casparian strips (FIGURE 2A). The cortex consists of ground parenchyma cells with an elliptical shape and variable size (FIGURES 2A-E). Idioblasts with phenolic compounds and starch are common, especially in the innermost cell layers. Isolated raphides are abundant in almost all parenchyma cells (FIGURES 2F-H), and drusa are scarce. Proteins and lipids are scattered throughout the cortex. Endodermis consists of elliptical to oblong cells with thick walls (FIGURES 2C, D, E). We noticed passage cells opposite xylem poles. Pericycle is formed by one layer of elliptical thin-walled cells. The stele consists of nine to thirteen xylem and phloem poles (FIGURES 2C, D, E). The center of stele exhibits several layers of small parenchyma cells with thin-walls in the apical portion (FIGURES 2C). We observed sclerification of parenchyma cells towards the rhizome (FIGURES 2D, E). In the portion closer to stem, the velamen is replaced by suberized cork, originated from the parenchyma cells adjacent to the exodermis (FIGURE 2B).

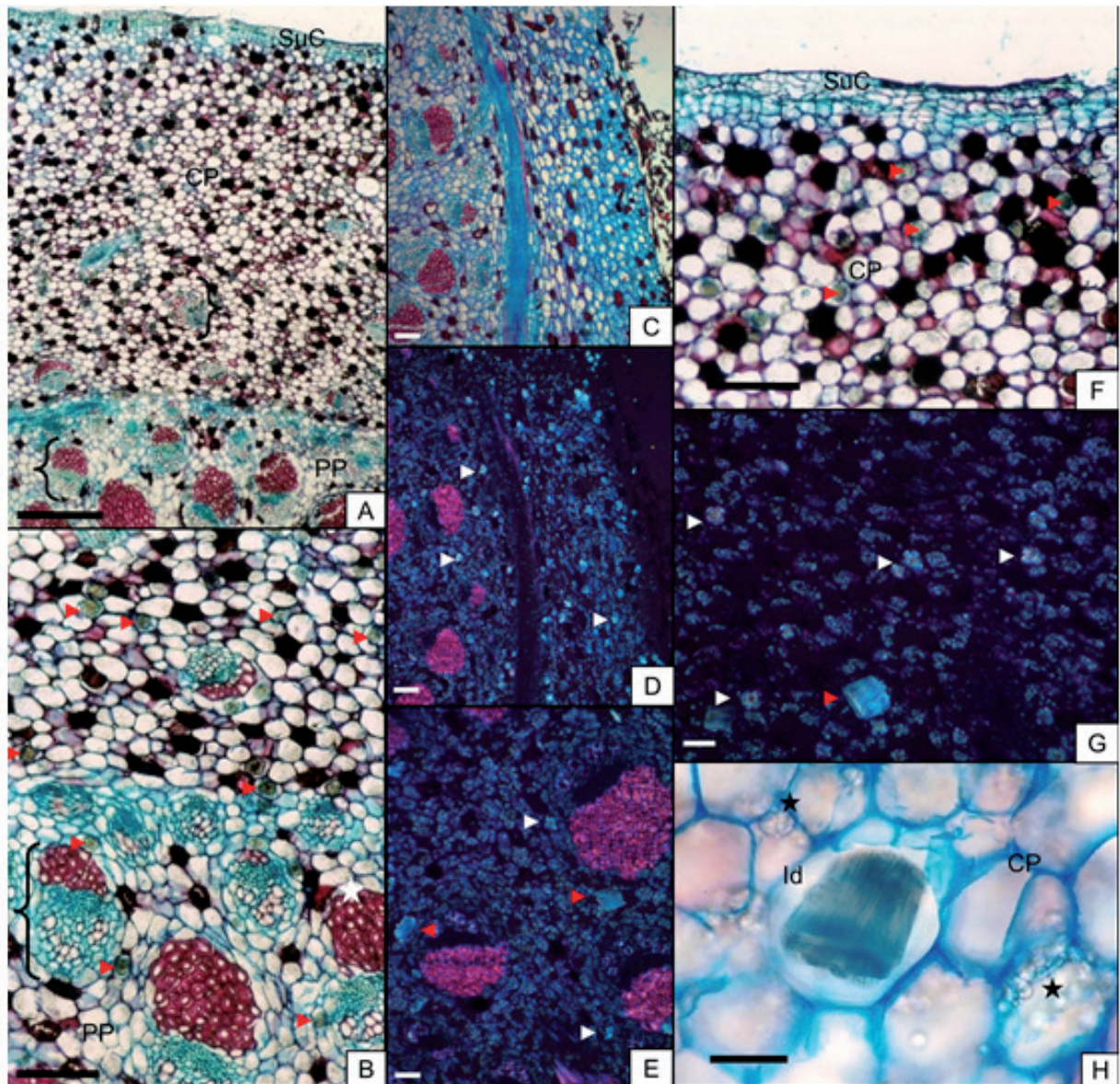
Figure 2. *Anthurium maricense*. Light micrographs of anatomy of roots. (A) Transverse section (TS) of the portion close to the apex, showing velamen with root hairs and the exodermis beneath. (B) TS of a section close to the stem (rhizome). Note the velamen is replaced with suberized cork. (C) to (E) TS of the center of root from portions close to the apex (C), middle (D), and close to the rhizome (E). Note the development of estele in different portions, showing sclerification of parenchyma towards the rhizome. (F-G) Transverse section under polarized light, showing raphides scattered throughout the cortex. (H) Details of isolated raphides in parenchyma cells from the cortex. Key: RH= Root hairs; Ve= Velamen; Ex= Exodermis; CP= Cortical Parenchyma; Ph= Phloem; Xy= Xylem; PP= Pith Parenchyma; SuC = Suberized Cork; Single Arrow = Endodermis; Double Arrow = Pericycle. Dark Arrow = Raphides. Bars: 200 μ m (A-G), 50 μ m (H).



Source: Guimarães (2017)

The stem of *A. maricense* is a subterranean rhizome, with dark brown color, and it is covered with fibrous cataphylls. The nodes are distinct, and the internodes are extremely short. The transverse sections of the internode region showed suberized cork with three to five layers covering the entire surface (FIGURES 3A, C, F). The cortex consists of ground parenchyma with sparse vascular bundles (FIGURE 3A), and several collateral vascular bundles with groups of sclerenchyma cells are scattered throughout ground tissue (FIGURES 3B-E). Starch and idioblasts containing druses, raphides and phenolic compounds are abundant in the whole organ (FIGURES 3B-H). Proteins and lipids are scattered throughout parenchyma tissues.

Figure 3. *Anthurium maricense*. Light micrographs of anatomy of rhizomes. (A) and (B) Transverse section (TS) of the rhizome, showing the dermal tissue, cortex and pith. Note the vascular bundles with fibers capping phloem in the center and the presence of idioblasts with crystals among parenchyma cells from the cortex. (C) TS of rhizome showing the cortex and inner region. (D-E) TS under polarized light showing the abundance of starch and idioblasts with drusa and raphides scattered throughout the organ. (F) TS of the dermal tissue (suberized cork) and cortex with idioblasts with crystals. (G) Details of the same region under polarized light revealing the abundance of starch and idioblasts with crystals. (H) TS of cortex, showing idioblast with calcium oxalate raphides and cells containing starch grains. Key: SuC= Suberized Cork; CP= Cortical Parenchyma; Braces = Vascular Bundle; PP= Pith Parenchyma; Sc= Schlerenchyma; Ph= Phloem; Xy= Xylem, Id= Idioblast; White Arrow heads = Druses; Red Arrow heads = Raphides Stars = Starch Grains. Bars: (A, C, D, E): 500 μ m; (B, F, G): 200 μ m; (H): 50 μ m.



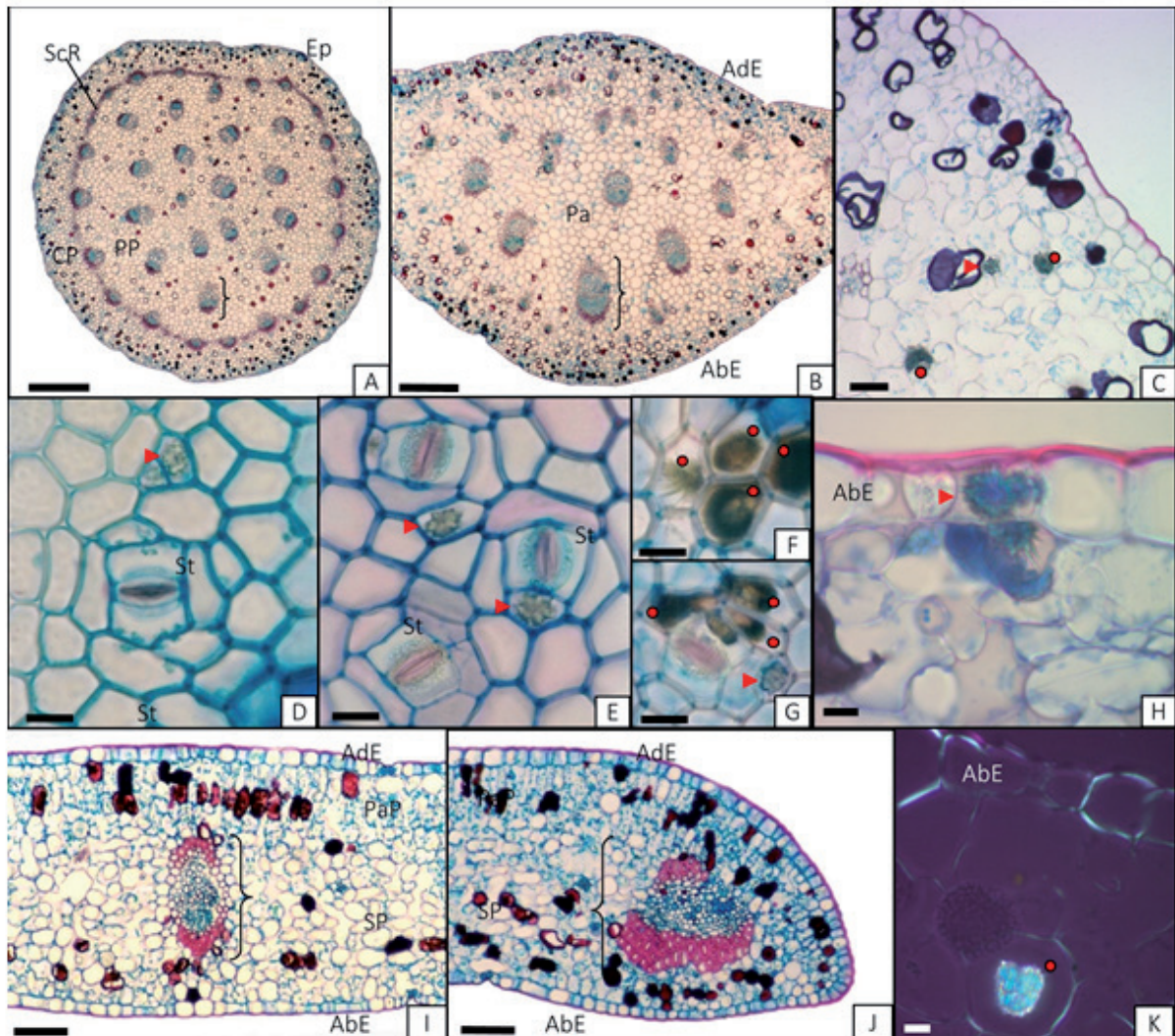
Source: Guimarães (2017)

In the middle portion of the petiole (FIGURE 4A), we observed one layer of epidermal cells coated with conspicuous cuticle. The cortex consists of ground parenchyma, with idioblasts containing druses and raphides in the outermost layers. The central cylinder is mostly compact with large and thin-walled parenchymatous cells. Collateral vascular bundles with fiber strands capping phloem are scattered throughout the ground tissue. We observed an interfascicular ring of fibers connecting the outer circle of bundles. Idioblasts containing druses are abundant, especially in the cortex.

In the midrib region (FIGURES 4B, C, H), we observed uniseriate epidermis in both surfaces, which periclinal cell walls are coated with thick cuticle. The mesophyll consists of parenchyma and collateral vascular bundles either ensheath by fibers or with fiber strands capping phloem. Idioblasts containing druses and raphides are found in the outer cell layers and epidermis (FIGURES 4C-H, K). Paradermal and transverse sections and observations on SEM showed paracytic stomata (FIGURES 4C-D, 5A-B) and idioblasts containing druses and raphides in both adaxial and abaxial epidermis (FIGURES 4D-H).

The leaf blade exhibits uniseriate epidermis in both surfaces, with conspicuous cuticle (FIGURES 4G and 4H). Epidermis showed ordinary cells with polygonal shape and paracytic stomata in both abaxial and adaxial leaf surfaces. Idioblasts with druses and raphides were also present. The mesophyll consists of 2-3 layers of palisade parenchyma and 15-20 layers of spongy parenchyma (FIGURES 4I-J). Several idioblasts containing druses and raphides are present in both palisade and spongy parenchyma. Vascular bundles are observed in the center of the mesophyll, with fiber strands capping phloem and xylem (FIGURES 4I-J). In the leaf margins, we observed larger collateral vascular bundles with larger fiber strands (FIGURES 4J). Proteins and lipids are scattered throughout parenchyma cells of the leaf blade.

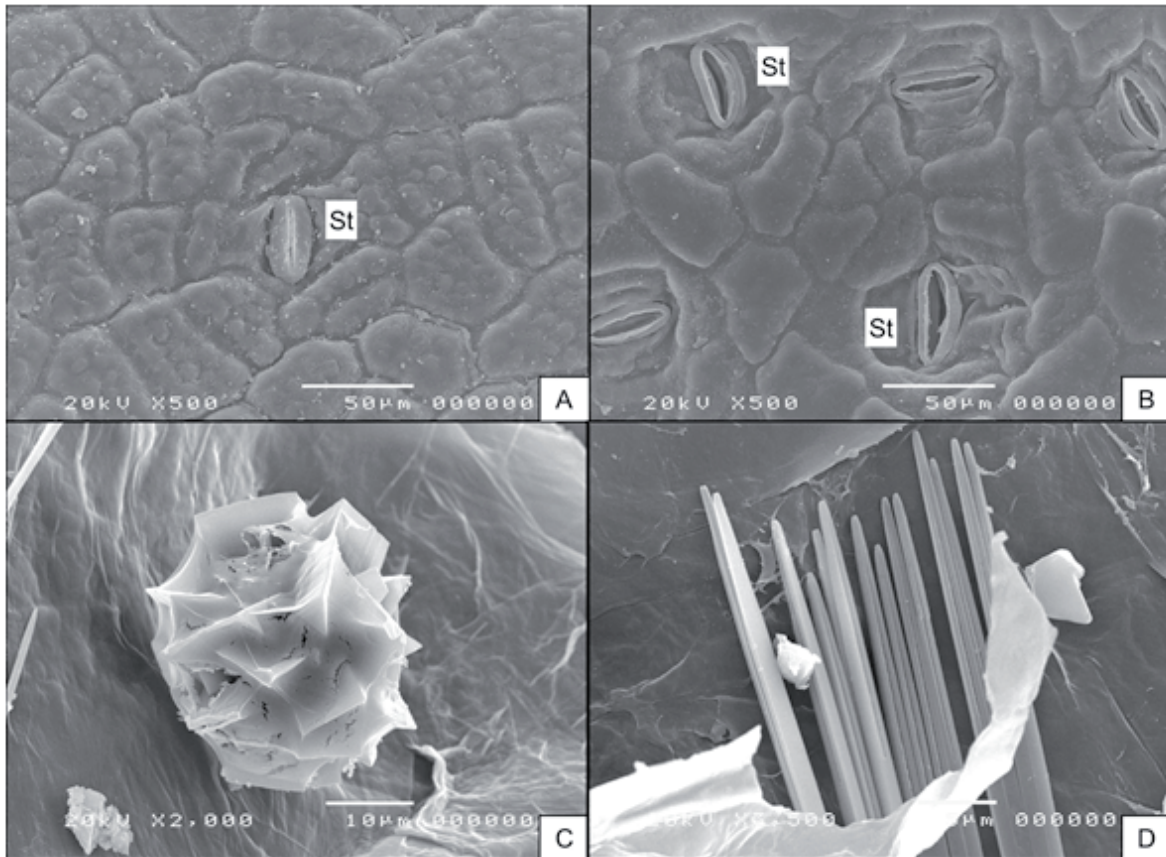
Figure 4. *Anthurium maricense*. Light micrographs of anatomy of leaves. (A) Transverse section (TS) of the middle portion of petiole. (B) TS of the midrib. (C) Details of TS of the midrib region exhibiting several idioblasts with crystals among parenchyma cells. (D-G) Paradermal sections (PS) of the leaf. (D-E) the adaxial and abaxial surfaces, respectively, showing the paracytic stomata and drusa. (F-G) Idioblasts containing drusa and raphides in the adaxial and abaxial faces respectively. (H) TS of the leaf blade showing the presence of sharp drusa in the abaxial epidermis. (I-J) Details of the leaf blade. (J) The leaf margin showing thick cuticle and large vascular bundles. (K) TS under polarized light revealing the presence of raphides next to the abaxial epidermis. Key: Ep= Epidermis; CP= Cortical Parenchyma; PP= Pith Parenchyma; ScR= Schlerenchymatic Ring; AdE= Adaxial Face of Epidermis, AbE= Abaxial Face of Epidermis; Pa= Parenchyma; PaP= Palisade Parenchyma; SP= Spongy Parenchyma; St=Stomata; Braces = Vascular Bundles; Arrow Heads = Drusa; Circles = Raphides. Bars: (A-B): 500µm; (D-H, K): 50µm; (C, I-J): 200µm.



Source: Guimarães (2017)

The histochemical test with Sudan IV did not reveal lipophilic substances inside the idioblasts with crystals. The test with Pizzolato solution showed the crystals in all organs consist of calcium oxalate. Under the SEM, the raphides revealed longitudinal grooves (FIGURE 5D). We also noticed a membrane involving the crystals, especially the drusa (FIGURE 5C).

Figure 5. Scanning electron micrographies of *Anthurium maricense*. (A) Adaxial epidermis. (B) Abaxial epidermis. Note the ordinary cells and stomata. (C) and (D) Two different types of calcium oxalate crystals from the leaf macerate. (C) Druse with a coating membrane. (D) Raphides with visible longitudinal grooves. Key: St= Stomata. Bars: in (A) and (B) = 50 μ m; in (C) = 10 μ m; in (D) = 5 μ m.

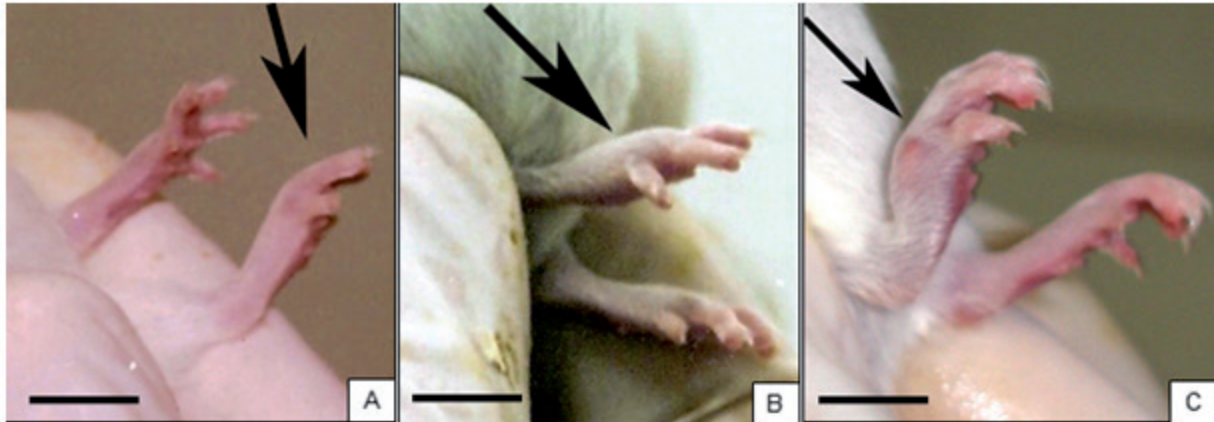


Source: Tanque (2017)

Toxicological analyses

The mouth washings showed negative results in all groups, without any sign of edema in the tongues or oral mucosa of the animals. In the days that followed the procedures, all animals remained alive and consumed water and food normally. The plantar inoculations, however, showed expressive results. In the 24 hours after the experiment, all animals showed level II edema (FIGURE 6B). After 96 hours, the results varied significantly. For the groups that received the centrifuged juices, all edema except one were reduced to level I (FIGURE 6A) and remained that way until the end of the experiment. One animal from the rhizome group had its edema grown to a level III after three weeks (FIGURE 6C). On the groups that received the whole juices, the results were different for each organ: the root group had all edema shrunk to level I after 96 h and showed no alteration at the end of observations. In the rhizome group, three out of the five animals had their edema grown to level III after three weeks and remained that way. On the leaf group, three out of the five animals had their edema grown to level III after one week, but at the end of the experiment, only one still had level III edema. None of the animals showed complete regression of edema during the experiment. Table 1 shows a summary of the data concerning the intensity and duration of paw edema.

Figure 6. The plantar edema in the paws of mice. (A): Level I edema. (B): Level II edema. (C): Level III edema. Note the paws with the edema (arrow), and the other visible paws are the ones in which the control saline solution was injected. Bars: 1cm in all.



Source: Tanque (2017)

Table 1: Results of the plantar inoculations. The number in each cell represents the number of animals that presented each level of edema.

	Whole juice												Centrifuged juice											
	Leaf				Root				Rhizome				Leaf				Root				Rhizome			
Level	0	I	II	III	0	I	II	III	0	I	II	III	0	I	II	III	0	I	II	III	0	I	II	III
A.I.	-	-	5	-	-	-	5	-	-	-	5	-	-	-	5	-	-	-	5	-	-	-	5	-
1h	-	-	5	-	-	-	5	-	-	-	5	-	-	-	5	-	-	-	5	-	-	-	5	-
2h	-	-	5	-	-	-	5	-	-	-	5	-	-	-	5	-	-	-	5	-	-	-	5	-
3h	-	-	5	-	-	-	5	-	-	-	5	-	-	-	5	-	-	-	5	-	-	-	5	-
6h	-	-	5	-	-	-	5	-	-	-	5	-	-	-	5	-	-	-	5	-	-	-	5	-
24h	-	-	5	-	-	-	5	-	-	-	5	-	-	-	5	-	-	-	5	-	-	-	5	-
96h	-	-	5	-	-	5	-	-	-	-	5	-	-	5	-	-	-	-	5	-	-	-	5	-
1week	-	-	2	3	-	5	-	-	-	-	5	-	-	5	-	-	-	5	-	-	-	5	-	-
2weeks	-	-	2	3	-	5	-	-	-	-	4	1	-	5	-	-	-	5	-	-	-	5	-	-
3weeks	-	-	2	3	-	5	-	-	-	-	2	3	-	5	-	-	-	5	-	-	-	4	-	1
4weeks	-	-	4	1	-	5	-	-	-	-	2	3	-	5	-	-	-	5	-	-	-	4	-	1

Source: Guimarães et al. (2019)

Discussion

Morphology and anatomy

The root anatomy of *A. maricense* is similar to the anatomy of other species of the genus (KEATING, 2002). It also revealed to be very similar to epiphytic orchids and bromeliads (PITA; MENEZES, 2002; SILVA; MILANEZE-GUTIERRE, 2004). These plants from distinct habits share the presence of velamen in their roots, a tissue responsible for absorbing water and minimizing transpiration in roots (BENZING et al., 1982). Bennet (1983) comments this feature is more

developed in epiphytes and desert plants that live in places under water stress. We did not observe sclerotic hypodermis or resin canals in the roots. Similar results were registered by French (1987a; 1987b), who did not find any of these two tissues in roots of other species of *Anthurium*.

The absence of phellogen and phelloderm indicates the secondary dermal tissue in the roots and rhizome consists of suberized cork (or storied cork), which is predominant in woody monocotyledons (ESAU, 1977). Suberized cork is also observed in other genera of Araceae as *Philodendron* (VIANNA et al., 2001), however, to the best of our knowledge, this is the first record in *A. maricense*.

The majority of studies in stem anatomy aim to characterize aerial parts. Ray (1987; 1988) described the patterns of stem structure in several genera, including *Anthurium*, but only aerial stems have been described in all analyzed species. Nevertheless, French and Tomlinson (1981) described several patterns of the vascular system for stems of Araceae, including subfamily Pothoideae. According to that, the internal architecture of the internode region of *A. polyschistum* is similar to *A. maricense*. Additionally, we also observed similar results to those described for stem anatomy of *Anthurium* (KEATING, 2002).

According to Mantovani et al. (2010), several species of *Anthurium* from Brazilian Atlantic Forest exhibit considerable diversity of the structure of the mesophyll. Some of these species show similar anatomy with the one observed in the present study for *A. maricense*. A similar structure was also observed in *Anthurium scandens* from the arboretum of Botanical Garden of Rio de Janeiro (JBRJ) (LORENZO et al., 2010). Mantovani et al. (2010) also observed similar idioblasts with druses and raphides in leaf epidermis only in *A. minarum*. However, the shape of epidermal cells and the stomatal configuration in *A. maricense* are remarkably distinct from the other species studied by those authors. Additionally, different epidermal cells and stomata were also registered in *A. scandens* (LORENZO et al., 2010).

The presence of a membrane involving the crystals, mainly on the drusa, corroborates the findings that such crystals are formed in organelles named crystal chambers or raphidioblasts (PRYCHID; RUDALL, 1999; FRANCESCHI; NAKATA, 2005). None of the studied organs contained raphides inside idioblasts, called biforine cells, spindle-shaped cells or defensive raphide idioblasts as described for other species of Araceae (SUNELL; HEALEY, 1985; CARNEIRO et al., 1989; LAINETTI et al., 1999). This type of idioblast makes the raphides be ejected at the gentlest touch and suggests a higher level of toxicity (COTÉ, 2009).

Toxicological aspects

The mechanism of intoxication of *A. maricense* is the association of drusa and raphides with proteolytic enzymes and lipophilic substances since the injuries caused by the whole juices were worse than the ones caused by the crystal-free juices. Also, the longitudinal grooves present on the raphides presumably serve to facilitate the penetration of toxic compounds in the wounded tissue (FRANCESCHI; NAKATA, 2005). Some studies with species of Araceae indicated proteolytic enzymes work together with raphides (WALTER; KHANNA, 1972) and sharp drusa of calcium oxalate (BOTHÁ; PENRITH, 2009). The trigger of the inflammatory response is the combination of mechanical damage by the sharp crystals and the release of proteolytic enzymes, which activates kinin-releasing mechanisms in the body (HANNA, 1986; MURPHY, 1994; KNIGHT; DORMAN, 1997; LORETTI et al., 2003; BOTHÁ; PENRITH, 2009; MATOS et al., 2011). Nevertheless, other studies with *Philodendron corcovadense* and *Dieffenbachia picta* suggested the edematous process also involved lipophilic substances associated with crystals (CARNEIRO et al., 1985; LAINETTI et al., 1995; LAINETTI et

al., 1999). The anatomical and histochemical analyses indicated the presence of proteins and lipids scattered throughout the roots, rhizomes, and leaves. Therefore, the mechanism of intoxication of *A. maricense* involves both types of chemical substances associated with the mechanical injury of raphides and drusa.

The lack of clear edema on the animals that received the juices orally can be justified by the brief contact of the juices with the tissues of the oral cavity, and it does not reproduce with precision a situation in which the animals would chew a piece of the plant. Nevertheless, several studies demonstrated how dangerous these plants might be. In the clinical case described by Cumpston et al. (2003), a man needed medical assistance in the hospital after chewing a piece of *Dieffenbachia picta* (dumb cane) stem, and had edema in his mouth and upper throat. Even after being treated, the swelling worsened in the three days that followed his admittance. In the study of Dip et al. (2004), the oral edema caused by *D. picta* also progressed over the course of the experiment. Toxicological studies with farm animals revealed *Alocasia macrorhiza* and *Dieffenbachia picta* caused poisonings of variable intensity with sialorrhoea and sublingual and submandibular edemas. The latter species induced intense degeneration and necrosis of oral mucosa. Both plants caused immediate clinical symptoms, which evolved for a week, lowering from the eighth day. *Monstera deliciosa* and *Philodendron hastatum* were responsible only for light alterations of oral mucosa (ARMIÉN; TOKARNIA, 1994; TOKARNIA et al., 1996; TOKARNIA et al., 2012). Additionally, several species of Araceae may also cause a lot of damages in the eyes, such as irritation, conjunctivitis, edema, and even injuries in the cornea (MATOS et al., 2011).

The plantar inoculations revealed the potential for poisoning of all vegetative organs of *A. maricense*. All of them induced moderate edema in all analyzed animals soon after inoculation. After 96 hours, the progression of the edema varied significantly according to each organ and the type of juice (whole or centrifuged). All animals but one that received the centrifuged juices had their edema diminished after 96 h. However, the animals in which we inoculated the whole juices exhibited different edema for each organ. Animals with inoculations of root juice had all edema shrunk to level I after 96 h, similarly to the centrifuged juice. This similar pattern may be related to the presence of isolated raphides and scarce drusa in the cortex of roots. Thus, even when the crystals are present, their amount and distribution are not enough to reinforce the association of mechanical damage and inflammatory substances and induce a more severe inflammatory response in the affected tissues.

Three among five animals with inoculations of rhizome juice had their edema grown to level III after three weeks. These results indicated the greatest potential for poisoning of the rhizomes among all vegetative organs of *A. maricense*. It was probably related to the abundance of idioblasts with raphides and drusa scattered throughout the parenchyma cells of the rhizome. Thus, the inflammatory response was triggered by the combination of mechanical damage by the abundant crystals and the release of proteolytic enzymes and lipids or several parenchyma cells. Furthermore, the worsening of the edema in the animal which received the centrifuged juice of rhizome after 96 h was possibly related to a secondary infection due to the plantar inoculation since similar patterns were not observed in any other analyzed animal.

Three among five animals with inoculations of leaf juice had their edema grown to level III after one week, but at the end of the experiment, only one still exhibited such edema. These results indicated the second greatest potential for poisoning among the vegetative organs. It was probably related to the distribution of idioblasts with raphides and drusa scattered throughout the parenchyma cells, similarly to the rhizome. Nevertheless, the presence of such idioblasts in the leaf epidermis

highlighted how easy this organ could trigger the inflammatory response, especially in contact with the oral mucosa. Additionally, the better comprehension of the poisoning level of each organ is particularly interesting due to the use of aerial and even underground organs of species of *Anthurium* as therapeutic resource (JOLY et al., 1987; ZAMORA-MARTÍNEZ; POLA, 1992; AGRA et al., 2008), and accidental ingestion of these organs from ornamental plants in public or private gardens.

None of the animals showed complete regression of edema during the experiment, which demonstrated the intensity of the poisonings. Other toxicological studies indicated that other species of Araceae, such as *Alocasia macrorhiza* and *Dieffenbachia picta*, induced severe clinical symptoms in animals fed with these plants, which disappeared in 6 to 10 days after their use (ARMIÉN; TOKARNIA, 1994; TOKARNIA et al., 1996; TOKARNIA et al., 2012). Thus, the edema caused by the vegetative organs of *A. maricense* presented lower intensity in contrast with other species of the family, such as *Dieffenbachia*, the attractive seeds of *Arisaema* and the leaves of *Pistia stratiotes* (KEATING, 2002). Nevertheless, they revealed to be chronic, since four weeks after the inoculations no animal had the edema entirely healed. In fact, some animals showed worsening in their conditions. Furthermore, species of Araceae may be responsible for systemic problems if used in the feeding of animals or accidental ingestion by humans, especially children. To the best of our knowledge, this is the first record of such persistent inflammatory response in cases of poisoning with Araceae, which highlights the importance of further studies on this genus, especially due to their use as ornamental and medicinal plants. We stress that the results described in this work are not only a step towards the explanation of the potential for poisoning of Araceae but also a contribution to anatomical patterns of *Anthurium*, especially from Brazilian restinga.

Conclusions

In this paper, we performed a toxicological and anatomical study of vegetative organs of *Anthurium maricense*. Our results revealed the mechanism of intoxication and the different levels of poisoning of each vegetative organ of *A. maricense*. All vegetative organs proved to be toxic and capable of inducing chronic inflammatory responses. We highlight the importance of further studies on this genus, especially due to their use as ornamental and medicinal plants. This paper aims to contribute to further studies of the anatomy of the species of Araceae and their possible toxicological effects.

Estudos toxicológico e anatômico dos órgãos vegetativos de *Anthurium maricense* Nadruz and Mayo (Araceae)

Resumo

Entre outros taxa de Araceae, *Anthurium* é um dos principais da família. Algumas espécies têm sido usadas como condimento, ornamentais e medicinais por mais de um século. *Anthurium maricense* é uma espécie endêmica das restingas do Rio de Janeiro, RJ, Brasil. Este trabalho teve como objetivos realizar estudos toxicológico e anatômico dos órgãos vegetativos de *A. maricense*. Essa espécie apresenta um sistema subterrâneo, formado por rizoma e raízes adventícias e folhas completas. As características anatômicas dos órgãos vegetativos são semelhantes àquelas observadas em *Anthurium* e outras espécies de Araceae, destacando-se o velame nas raízes e os idioblastos com

cristais de oxalato de cálcio em todos os órgãos analisados. As análises em MEV revelaram fendas longitudinais nas ráfides. Nos exames toxicológicos, foram usados extratos brutos (com cristais) e centrifugados (sem cristais) de cada órgão. Frações desses extratos foram administradas via lavagem bucal e inoculação nas patas em grupos de 5 camundongos. A formação de edemas foi observada em 1, 3, 6, 24 e 96 horas, além de 7, 14, 21 e 28 dias. As lavagens bucais não induziram desenvolvimento de edemas em todos os grupos. As inoculações nas patas levaram a resultados distintos: os extratos centrifugados induziram edemas moderados regredindo para leves, e os brutos provocaram edemas severos. Nossos resultados indicam que a distribuição e morfologia das ráfides e drusas e a presença de substâncias químicas de natureza diversa estão envolvidas no processo edematogênico. *A. maricense* apresenta potencial para induzir edemas crônicos se comparado a outras espécies de Araceae.

Palavras-chave: Anatomia. Cristais. Restinga. Toxicidade.

References

AGRA, M. F.; SILVA, K. N.; BASÍLIO, I. J. L. D.; FREITAS, P. F.; BARBOSA FILHO, J. M. Survey of medicinal plants used in the region Northeast of Brazil. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 18, n. 3, p. 472-508, 2008.

AQUINO, R.; MORELLI, S.; LAURO, M. R.; ABDO, S.; SAIJA, A.; TOMAINO, A. Phenolic constituents and antioxidant activity of an extract of *Anthurium versicolor* leaves. **Journal of Natural Products**, v. 64, n. 8, p. 1019-1023, 2001.

ARMIÉN, A. G.; TOKARNIA, C. H. Experimentos sobre a toxidez de algumas plantas ornamentais em ovinos. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 14, n. 2/3, p. 69-73, 1994.

BENNET, B. C. Primitive habit in Orchidaceae. **Systematic Botany**, v. 8, p. 472-474, 1983.

BENZING, D. H.; OTT, D. W.; FRIEDMAN, W. E. Roots of *Sobralia macrantha* (Orchidaceae): structure and function of the velamen-exodermis complex. **American Journal of Botany**, v. 69, p. 608-614, 1982.

BERLYN, G. P.; MIKSCHÉ, J. P. **Botanical microtechnique and cytochemistry**. Ames, Iowa: The Iowa State Press, 1976.

BOCHNER, R.; FISZON, J. T.; ASSIS, M. A.; AVELAR, K. E. S. Problemas associados ao uso de plantas medicinais comercializadas no mercadão de Madureira, município do Rio de Janeiro, Brasil. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 14, n. 3, p. 537-547, 2012. Available in: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-05722012000300017&lng=en&nrm=i>. Access on: 23 July 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-05722012000300017>.

BOCHNER, R.; FISZON, J. T.; ASSIS, M. A. **Plantas tóxicas ao alcance de crianças: transformando risco em informação**. Rio de Janeiro (RJ): RioBooks, 2013. 64p.

- BOTHA, C. J.; PENRITH, M. L. Potential plant poisonings in dogs and cats in Southern Africa. **South African Veterinary Association**, v. 80, n. 2, p. 63-74, 2009. Available in: <<http://www.scielo.org.za/pdf/jsava/v80n2/02.pdf>>. Access on: 22 July 2018.
- BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. FIOCRUZ. **SINITOX** - SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES TÓXICO-FARMACOLÓGICAS. (HOMEPAGE NA INTERNET). 2016. DISPONÍVEL EM: <<HTTP://SINITOX.ICICT.FIOCRUZ.BR/>>. Acesso em: 10 maio 2016.
- BRITO, A. S. **Manual de Ensaios Toxicológicos in vivo**. Campinas: Editora da UNICAMP, 1994. 122 p.
- BUKATSCH, F. Bemerkungen zur Doppelfärbung Astrablau-Safranin. **Mikrokosmos**, v. 61, p. 255, 1972.
- CARNEIRO, C. M. T. S.; NEVES, L. J.; PEREIRA, E. F. R.; PEREIRA, N. A. Mecanismo tóxico de 'comigo-ninguem-pode', *Dieffenbachia picta* Schott. (Araceae). **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 57, n. 1, p. 392-393, 1985.
- CARNEIRO, C. M. T. S.; NEVES, L. J.; PEREIRA, E. F. R.; PEREIRA, N. A. Mecanismo tóxico de Comigo-Ninguém-Pode, *Dieffenbachia picta* Schott, Araceae. **Revista Brasileira de Farmácia**, v. 70, n. 1, p. 11-13, 1989.
- CLARK, G. **Staining procedures**. Baltimore: Williams and Wilkins, 1981.
- COELHO, M. A. N. New species of *Anthurium* (Araceae) from Brazil. **Aroideana**, v. 29, n. 1, p. 91-103, 2006.
- COELHO, M. A. N. Espécies novas de *Anthurium* e *Philodendron* (Araceae) do sudeste brasileiro. **Boletins do Museu de Biologia Professor Mello Leitão**, v. 28, n. 1, p. 21-40, 2010. Available in: <HTTP://BOLETIM.SAMBIO.ORG.BR/PDF/28_00.PDF>. Access on: 19 July 2018.
- COELHO, M. A. N.; CATHARINO, E. L. M. Duas espécies novas de *Anthurium* (Araceae) endêmicas do litoral de São Paulo, Brasil. **Rodriguesia**, v. 59, n. 4, p. 829-833, 2008. Available in: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2175-78602008000400829&lng=en&nrm=iso>. Access on: 18 July 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/2175-7860200859411>.
- COELHO, M. A. N.; MAYO, S. J. *Anthurium maricense* Nadruz and Mayo: a new species of *Anthurium* Schott (Araceae: tribe Anthurieae) for Brazil. **Aroideana**, v. 23, n. 1, p. 82-88, 2000.
- CORRÊA, M. P. **Dicionário das plantas úteis do Brasil e das exóticas cultivadas**: Brasília: Ministério da Agricultura, Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal, 1984. 747 p.
- COTÉ, G. G. Diversity and distribution of idioblasts producing calcium oxalate crystals in *Dieffenbachia seguine* (Araceae). **American Journal of Botany**, v. 96, n. 7, p. 1245-1254, 2009. Available in: <<https://bsapubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.3732/ajb.0800276>>. Access on: 17 July 2018.
- CUMPSTON, K. L.; VOGEL, S. N.; LEIKIN, J. B.; ERICKSON, T. B. Acute airway compromise after brief exposure to a dieffenbachia plant. **Journal of Emergency Medicine**, v. 25, n. 4, p. 391-397, 2003.

DAHLGREN, R. M. T.; CLIFFORD, H. T.; YEO, P. F. **The families of Monocotyledons. Structure, Evolution, and Taxonomy.** Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 1985. 520 p.

DIP, E. C.; PEREIRA, N. A.; FERNANDES, P. D. Ability of eugenol to reduce tongue edema induced by *Dieffenbachia picta* Schott in mice. **Toxicon**, v. 43, n. 6, p. 729-735, 2004.

DRACH, G.; MALONEY, W. H. Toxicity of the common houseplant *Dieffenbachia*. **JAMA**, v. 184, n. 1, p. 1047-1048, 1963.

DUKE, J. A.; VASQUEZ, R. **Amazonian ethnobotanical dictionary.** Michigan: CRC Press, Ann Arber, 1994. 224 p.

ESAU, K. **Anatomy of seed plants.** 2. ed. New York (NY): Jonh Wiley & Sons, 1977. 550 p.

FELIPPE, G. **Venenosas:** plantas que matam também curam. São Paulo (SP): Ed. Senac, 2009. 352 p.

FRANCESCHI, V. R.; NAKATA, P. A. Calcium oxalate in plants: formation and function. **Annual Review of Plant Biology**, v. 56, n. 1, p. 41-71, 2005.

FRANKLIN, G. L. Preparation of thin sections of synthetic resins and wood-resin composites, and a new macerating method for wood. **Nature**, v. 155, n. 3924, p. 51, 1945.

FRENCH, J. C. Systematic occurrence of a sclerotic hypodermis in roots of Araceae. **American Journal of Botany**, v. 74, n. 6, p. 891-903, 1987a.

FRENCH, J. C. Systematic survey of resin canals in roots of Araceae. **Botanical Gazette**, v. 148, n. 3, p. 360-371, 1987b.

FRENCH, J. C.; TOMLINSON, P. B. Vascular patterns in stems of Araceae: subfamily Pothoideae. **American Journal of Botany**, v. 68, n. 5, p. 713-729, 1981.

GARDNER, D. G. Injury to the oral mucous membranes caused by the common houseplant, *Dieffenbachia*. **Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Patholo.** v. 78, n. 5, p. 631-633, 1994.

GONÇALVES, E. G. *Anthurium macropodum*: a remarkable new species of Araceae from Brazil. **Kew bulletins**, v. 67, n. 3, p. 451-454, 2012.

HANNA, G. Plant poisoning in canines and felines. **Veterinary and Human Toxicology**, v. 28, n. 1, p. 38-40, 1986.

JOHANSEN, D. A. **Plant Microtechnique.** New York: McGraw-Hill Book Co. Inc., 1940. 487 p.

JOLY, L. G.; GUERRA, S.; SEPTIMO, R.; SOLIS, P. N.; CORREA, M.; GUPTA, M., LEVY, S.; SANDBERG, F. Ethnobotanical inventory of medicinal plants used by the Guaymi indians in Western Panama. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 20, Part I, p. 145-171, 1987.

JUDD, W. S.; CAMPBELL, C. S.; KELLOGG, E. A.; STEVENS, P. F.; DONOGHUE, M. J. **Sistemática vegetal:** um enfoque filogenético. Porto Alegre (RS): Artmed, 2009. p. 353-355.

- KARNOVSKY, M. J. A. A formaldehyde-glutaraldehyde fixative of high osmolality for use in electron microscopy. **Journal of Cell Biology**, v. 27, p. 137-138, 1965.
- KEATING, R. C. Acoraceae and Araceae. In: Gregory M, Cutler DF (Eds). **Anatomy of the monocotyledons**. New York (NY): Oxford University Press Inc., 2002. 322 p.
- KNIGHT, M. W.; DORMAN, D. C. Selected poisonous plant concerns in small animals. In: DORMAN, D. (Ed.). Symposium. Toxicosis in dogs and cats. **Veterinary Medicine**, v. 92, p. 260-272, 1997.
- KRAUS, J. E.; ARDUIN, M. **Manual básico de métodos em morfologia vegetal**. Rio de Janeiro: EDUR, 1997. v. 1, 198 p.
- LAINETTI, R.; PEREIRA, N. A.; NEVES, L. J. Mecanismo tóxico de Comigo-Ninguém-Pode – *Dieffenbachia picta* Schott, a “planta armada”, e de outras aráceas ornamentais. **Infarma**, v. 4, p. 5-7, 1995.
- LAINETTI, R.; VIEIRA, A. C. M.; PEREIRA, N. A. Atividade edematogênica em *Philodendron corcovadense* Kunth. **Revista Brasileira de Farmácia**, v. 80, n. 1, p. 64-65, 1999.
- LORENZO, N.; MANTUANO, D. G.; MANTOVANI, A. Comparative leaf ecophysiology and anatomy of seedlings, young and adult individuals of the epiphytic aroid *Anthurium scandens* (Aubl.) Engl. **Environmental Experimental Botany**, v. 68, n. 3, p. 314-322, 2010.
- LORETTI, A. P.; ILHA, M. R. S.; RIBEIRO, R. E. S. Accidental fatal poisoning of a dog by *Dieffenbachia picta* (dumb cane). **Veterinary and Human Toxicology**, v. 45, n. 5, p. 233-239, 2003.
- MANTOVANI, A.; FILARTIGA, A. L. D. P.; COELHO, M. A. N. Anatomia comparada da folha e espata de espécies de *Anthurium* (Araceae) ocorrentes na Mata Atlântica. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 33, n. 1, p. 185-200, 2010. Available in: <<http://www.scielo.br/pdf/rbb/v33n1/16.pdf>>. Access on: 17 July 2018.
- MATOS, F. J. A.; LORENZI, H.; SANTOS, L. F. L.; MATOS, M. E. O.; SILVA, M. G. V.; SOUSA, M. P. **Plantas tóxicas** – Estudo de Fitotoxicologia Química de Plantas Brasileiras. São Paulo, SP: Instituto Plantarum, 2011. v. 1, 256 p.
- MAZIA, D.; BREWER, P. A.; ALFERT, M. The cytochemical staining and measurement of protein with mercuric bromophenol blue. **The Biological Bulletin**, v. 104, n. 1, p. 57-67, 1953.
- MURPHY, M. J. Toxin exposures in dogs and cats: Pesticides and biotoxins. **Journal of American Veterinary Medicine Association**, v. 205, n. 3, p. 414-421, 1994.
- OCCHIONI, P.; RIZZINI, C. T. Ação Tóxica de Duas SP de *Dieffenbachia*. **Revista Brasileira de Medicina**, v. 1, n. 1, p. 10, 1958.
- PASA, M. C.; SOARES, J. J.; GUARIM NETO, G. Estudo etnobotânico da comunidade de Conceição-Açu (Alto da Bacia do Rio Aricá Açu, MT, Brasil). **Acta Botanica Brasilica**, v. 19, n. 2, p. 195-207, 2005. Available in: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-33062005000200001&lng=en&nrm=iso>. Access on : 15 July 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-33062005000200001>.

PITA, P. B.; MENEZES, N. L. Anatomia da raiz de espécies de *Dyckia* Schult. f. e *Encholirium* Mart. ex Schult. and Schult. f. (Bromeliaceae, Pitcairnioideae) da Serra do Cipó (Minas Gerais, Brasil), com especial referência ao velame. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 25, n. 1, p. 25-34, 2002. Available in: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-84042002000100005&lng=en&nrm=iso>. Access on: 16 July 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-84042002000100005>.

POLI, L. P.; TEMPONI, L. G.; COAN, A. I. Anatomical aspects of the gynoecium of species of *Anthurium* sect. *Urospadix* Engl. (Araceae, Alismatales). **Flora**, v. 207, n. 8, p. 615-621, 2012.

PRYCHID, C. J.; RUDALL, P. J. Calcium oxalate in monocotyledons: a review of their structure and systematic. **Annals of Botany**, v. 84, n. 6, p. 725-739, 1999.

RAY, T. S. Diversity of shoot organization in the Araceae. **American Journal of Botany**, v. 74, n. 9, p. 1373-1387, 1987.

RAY, T. S. Survey of shoot organization in the Araceae. **American Journal of Botany**, v. 75, n. 1, p. 56-84, 1988.

RADFORD, A. E.; DICKISON, W. C.; MASSEY, J. R.; BELL, R. **Vascular plants systematic**. New York, NY: Harper and Row. 1974. p. 83-152.

REEVE, R. M. Histological and Histochemical Changes in Developing and Ripening Peaches. II. The Cell Walls and Pectins. **American Journal of Botany**, v. 46, n. 4, p. 241-248, 1959.

RIZZINI, C. T.; OCCHIONI, P. Ação tóxica das *Dieffenbachia picta* e *D. seguine*. **Revista Brasileira de Medicina**, v. 20, n. 1, p. 5-26, 1957.

SASS, J. S. **Botanical Microtechnique**, 2 ed. Ames: Iowa Press. 1951. 248 p.

SACHVARTSMAN, S. **Plantas Venenosas e animais peçonhentos**. São Paulo, SP: Sarvier. 1992. 288p.

SILVA, C. I.; MILANEZE-GUTIERRE, M. A. Caracterização morfo-anatômica dos órgãos vegetativos de *Cattleya walkeriana* Gardner (Orchidaceae). **Acta Scientiarum Biological Sciences**, v. 26, n. 1, p. 91-100, 2004. Available in: <<http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciBiolSci/article/view/1664>> Access on: 17 July 2018.

SILVA, A. J. R., ANDRADE, L. H. C. Etnobotânica nordestina: estudo comparativo da relação entre comunidades e vegetação na Zona do Litoral-Mata do Estado de Pernambuco, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 19, n. 1, p. 45-60, 2005. Available in: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-33062005000100006&lng=en&nrm=iso>. Access on: 20 July 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-33062005000100006>.

SILVEIRA, M. Preparo de amostras biológicas para microscopia eletrônica de varredura. In: SOUZA W. (ed.). **Manual sobre técnicas básicas em microscopia eletrônica**. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Microscopia Eletrônica. 1989. p. 71-79.

SILVER, V. L.; PRICE, J. L. Demonstration of calcium oxalate crystals in plant tissues by the Pizzolato ($\text{AgNO}_3\text{-H}_2\text{O}_2$) method. **Stain Technology**, v. 44, n. 5, p. 257-259, 1969.

SOUZA, V. C.; LORENZI, H. **Botânica sistemática**: guia ilustrado para identificação das famílias de angiospermas da flora brasileira, baseado em APG II. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, 2005. 640 p.

SUNELL, L. A.; HEALEY, P. L. Distribution of calcium oxalate crystal idioblasts in leaves of taro (*Colocasia esculenta*). **American Journal of Botany**, v. 72, n. 12, p. 1854-1860, 1985.

TEMPONI, L. G.; COELHO, M. A. N. Two new species of *Anthurium* sect. *Urospadix* (Araceae) for Brazil. **Rodriguesia**, v. 62, n. 2, p. 315-320, 2011. Available in: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2175-78602011000200315&lng=en&nrm=iso>. Access on: 14 July 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/2175-7860201162208>.

TOKARNIA, C. H.; ARMIÉN, A. G.; PEIXOTO, P. V.; BARBOSA, J. D.; BRITO, M. F.; DÖBEREINER, J. Estudo experimental sobre a toxidez de algumas plantas ornamentais em bovinos. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 16, n. 1, p. 5-20, 1996.

TOKARNIA, C. H.; BRITO, M. F.; BARBOSA, J. D.; PEIXOTO, P. V.; DÖBEREINER, J. **Plantas tóxicas do Brasil**. Rio de Janeiro: Helianthus, 2012.

TWARDOWSCHY, C. A.; TEIVE, H. A. G.; SIQUINELI, F.; DIETZEL FILHO, L.; ENTRES, M., TWARDOWSCHY, A.; WERNECK, L. C. Trigeminal sensory neuropathy and facial contact dermatitis due to *Anthurium* sp. **Arquivos de Neuro-Psiquiatria**, v. 65, n. 3, p. 822-825, 2007. Available in: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-282X2007000500017&lng=en&nrm=iso>. Access on: 12 July 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0004-282X2007000500017>.

VIANNA, W. O.; SOARES, M. K. M.; APEZZATO-DA-GLÓRIA, B. Anatomia da raiz escora de *Philodendron bipinnatifidum* Schott (Araceae). **Acta Botanica Brasilica**, v. 15, n. 3, p. 313-320, 2001. Available in: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-33062001000300003&lng=en&nrm=iso>. Access on: 23 July 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-33062001000300003>.

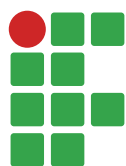
WALTER, W. G.; KHANNA, P. N. Chemistry of the aroids. I. *Dieffenbachia seguine*, *amoena* and *picta*. **Economic Botany**, v. 26, n. 4, p. 364-372, 1972.

WHITTIER, D. P.; PETERSON, R. L. The cuticle on *Psilotum* gametophytes. **Canadian Journal of Botany**, v. 73, n. 8, p. 1283-1288, 1995.

ZAMORA-MARTÍNEZ, M. C.; POLA, C. N. P. Medicinal plants used in some rural populations of Oaxaca, Puebla and Veracruz, Mexico. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 35, n. 3, p. 229-257, 1992.

Received: January 7, 2018

Accepted: April 18, 2018



Crude protein content in *Urochloa* cultivars (Syn. *Brachiaria*) in exclusive pasture system or consorciated with *Macrotyloma axillare* cv. Guatá

Thiago Rossi Simões¹

Käthery Brennecke²

Liandra Maria Abaker Bertipaglia³

Luciana Gerdes⁴

Abstract

The objective of this study was to evaluate the crude protein content of *Urochloa* spp. cultivars (*U. brizantha* cv Marandu and *U. decumbens* cv. Basilisk), within a consortium system with *Macrotyloma axillare* cv Guatá. The experimental design was a completely randomized design, with four replications, in a factorial scheme (2 x 2), at which two types of grass (*U. decumbens* and *U. brizantha*) and two pasture types were studied (intercropped or exclusively fertilized with 60 kg of nitrogen/ha) with repeated measures in time (samplings at two seasons of the year: February (summer) and August (winter)). Subsequently, samples were collected from a 2 m long PVC bar at four points in each picket, and the forage cut close to the ground, with costal mowing coupled with 0.5 m length hedge trimmer, each sample of 0.5 x 2.0 m, totalizing 1m². The sampled material was identified, weighed and sent for analysis of crude protein to assess the contribution of leguminous in grass protein content. No significant differences were found when the type of grass versus type of pasture interaction for the crude protein variable was met; however, significant differences were found when evaluating the type of grass versus season interaction, at which the highest levels were found within the month of February (summer), the same occurring for the interaction type of pasture versus season of the year. It was concluded there were increases in crude protein content for *U. decumbens* cv. Basilisk and *U. brizantha* cv. Marandu when in consortium with *M. axillare* cv. Guatá in the summer season.

Keywords: Biological nitrogen. Forage. Forage quality. Leguminous.

Introduction

Brazilian livestock has made significant progress in recent decades, and Brazil has reached the position of being one of the largest producers and bovine meat exporters; according to the Yearbook DBO (2017), the Brazilian cattle herd, with approximately 215 million heads, raised predominantly in pasture is the second largest in the world.

An important issue in forage production is the variation in forage availability throughout the year, known as seasonality of production, at which the production of fodder in the rainy season and

1 Universidade Brasil/Programa de Mestrado em Produção Animal, discente. rossisimoies@hotmail.com.

2 Universidade Brasil/Programa de Mestrado em Produção Animal, docente. katherybr@yahoo.com.br. Departamento de Produção Animal. Avenida Hilário da Silva Passos, 950, Parque Universitário, Descalvado, SP 13690-000, Brasil.

3 Universidade Brasil/Programa de Mestrado em Produção Animal, docente. liandramab@gmail.com.

4 Instituto de Zootecnia, pesquisadora científica. lucianagerdes@yahoo.com.br.

in the dry season is obtained with little or no supply. However, there is a great supply of forage, but of inferior quality (SILVA; SALIBA, 2007; CARVALHO; PIRES, 2008).

Forage production in tropical soils usually occurs in soils with high weathering characteristics, low natural fertility and high phosphorus fixing capacity and, according to Paulino et al. (2008), in order to make them sustainable, anthropic interference with the input of external inputs is required, which consists of providing the necessary nutrients to the plants, in recommended quantity and quality, in periods of better use or need of the plants.

Nitrogen (N), widely used in pasture maintenance due to its determinant character of production, provides forage dry mass maximization and, consequently, higher stocking and meat production per hectare (WERNER et al., 2001), besides being an essential constituent of proteins that interferes directly in the photosynthetic process through its participation in the chlorophyll molecule; therefore, it is one of the main nutrients for the intensification of pasture productivity, and in its absence or frequent availability, pasture production will suffer reduction, initiating the degradation process (MEIRELLES, 1993).

The great difficulty arises from the fact that N is a highly reactive element, being subject to several transformations in soil and plants (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

In an attempt to minimize production costs and environmental impacts from the use of nitrogen fertilizers, an ecologically correct and sustainable alternative is the use of a consortium between leguminous and grasses within the production system, at which leguminous fix nitrogen and end up acting as sources of this nutrient to the grasses (WERNER et al., 2001).

Carvalho and Pires (2008) say, in a pasture system, the most limiting nutrients are phosphorus and nitrogen; applications with nitrogen sources in pasture minimize quantitative and qualitative problems in pasture production since nitrogen can be introduced into the system by two ways: introduction of forage leguminous that are intercropped with pasture or with the application of mineral nitrogen.

The use of nitrogen from nitrogen fertilizers, as a rule, is a costly practice, and the use of leguminous in tropical pastures becomes an efficient and inexpensive strategy for the introduction of nitrogen to the system.

According to Paulino et al. (2008), the 70s and 80s marked Brazil, as it was the period for the greatest number of researches involving the consortium system, with emphasis on the genera *Stylosanthes*, *Glycine Galactia*, *Macrotyloma* and *Calopogônio*; however, at that time, most of the experiments were carried out in greenhouses, with leguminous being established in exclusive cultivation; when they were directed to intercropping, the focus was predominantly between plants that had compatibility among the species involved.

Therefore, the purpose of this study was to quantify Crude Protein (CP) value for cultivars of *Urochloa* spp. (*U. brizantha* cv. Marandu and *U. decumbens* cv. Basilisk), under exclusive pasture or with a consortium system with *Macrotyloma axillare* cv. Guatá, in two seasons of the year (summer and winter).

Material and methods

The experiment was conducted at the Regional Center for the Technological Development of Agribusiness in the Center-West - APTA-SAA, at the Research Unit of Brotas (SP). The city of Brotas is located at 22° 16' South Latitude and 48° 70' West Longitude, with an altitude of 650 meters, and subtropical climate Cwa (hot and rainy summer and dry winter), according to Koppen classification. The material of the study of this paper were *U. brizantha* cv. Marandu and *U. decumbens* cv. Basilisk, used to about 20 years in other research projects.

The soil of the experimental area was classified as dystrophic Quartzeneic Neosol (EMBRAPA, 1999), containing an average of 9 % of clay, 33 % of fine sand, 57 % of coarse sand and 1 % of silt.

The experimental design was a completely randomized design, with four replications, in a factorial scheme (2 x 2), at which two grasses (*U. decumbens* and *U. brizantha*) and two pasture types were studied (intercropped or exclusively fertilized with 60 kg of nitrogen/ha) with repeated measures in time (samplings at two seasons of the year: February (summer) and August (winter)).

Both pastures were managed with forage canopy height around 30 cm, in a continuous stocking system with variable stocking rate (put and take).

The choice of animals to be placed in the area, altogether 45, was based on the similarity of weight, age and racial pattern. Therefore, the grazing was performed with freshly weaned male cattle Nelore, initial weight and age of about 150 kg and 12 months, respectively.

For both pastures, maintenance fertilization was applied according to Boletim 100 (RAIJ et al., 1997).

A mixture of 300 kg/ha of ammonium sulphate and 100 kg/ha of potassium chloride was applied to the haul in exclusive pasture treatments.

Sampling was carried out for each season by randomly launching a 2 m long PVC bar at four points of each picket, at which the forage was cut close to the ground, with a costal clipper coupled with a fence pruner, 0.5 m long, each sample of 0.5 x 2.0 m, totalizing 1m² sampled.

The sampled material was separated into components leguminous, grasses and dead material, weighed, identified and sent for determining crude protein content (CP) according to A.O.A.C (1980).

Data were analyzed using the MIXED procedure of SAS (Statistical Analysis System), SAS Institute (2010), in order to determine the structure of variance and covariance matrix. The significance level for the analysis of variance was 5 %.

Results and discussion

It can be observed that, when evaluated the type of grass within the consortium or exclusive system, no significant differences were found in relation to crude protein content (TABLE 1).

Table 1. Crude protein (CP) in forages *U. decumbens* cv. Basilisk and *U. brizantha* cv. Marandu according to the type of pasture and season of the year.

Crude Protein Content			
	Forage type		
Grazing type	<i>U. decumbens</i>	<i>U. brizantha</i>	Means
Consortium	7,19±0,41aA	8,35±0,41aA	7,77±0,29A
Exclusive	6,64±0,41aA	6,23±0,41aA	6,43±0,29A
Means	6,92±0,29a	7,29±0,29a	
	Forage Type		
Season type	<i>U. decumbens</i>	<i>U. brizantha</i>	Means
February	9,56±0,43aA	10,68±0,43aA	10,12±0,30A
August	4,27±0,43aB	3,90±0,43aB	4,09±0,30B
Means	6,92±0,29a	7,29±0,29a	

Season Type	Grazing Type		Means
	Consortium Exclusive		
February	11,65±0,43aA	8,59±0,43bA	10,12±0,30A
August	3,90±0,43aB	4,28±0,43aB	4,09±0,30B
Means	7,77±0,29a	6,43±0,29a	

Means followed by different capital letters in the columns and different lowercase letters in the lines differ from each other by the Tukey-Kramer test ($P < 0.05$)¹ statistic referring to transformed data for Log of (X+1)

Source: Prepared by the author (2018).

This insignificant result when evaluating the type of grass in relation to pasture type can be considered positive, since fertilization with 300 kg/ha of ammonium sulphate and 100 kg/ha of chloride of potassium was carried out for exclusive pasture, which did not occur for the types of intercropped grass.

The contribution of nitrogen by the leguminous to other crops in a consortium depends on the legume forage species, its mobilization potential and the efficiency for the production of phytomass. Therefore, the assimilation of nitrogen is determined by genetic material and environmental conditions and it can be enhanced by waste management (RAO; MATHUVA, 2000).

In this context, with the entry of leguminous plants, it is possible to obtain expressive and low cost results, since the adoption of a consortium can promote improvement in the pasture system through biological nitrogen fixation, increase of organic matter in the system and retention of carbon in soil, and it can also generate savings in fertilizer use.

Carvalho (1986), cited by Paulino et al. (2008), shows the contribution of leguminous to the leguminous/grass mix corresponds to nitrogen applications in the exclusive grass, ranging from 100 to 250 kg ha/year; under grazing conditions, most of the transfer takes place through mineralization of the nitrogen present in the leguminous residue and in the excrement of grazing animals.

Significant differences were observed when evaluating the interaction between grass and season of the year, and the highest levels were found in February (summer), according to Table 1. It is also observed the consortium system presented higher protein content during the month of February.

It can be observed that, when studying the type of grass in relation to season, the highest levels were found in the months of February, the same occurred when studying the type of pasture in relation to season.

Van Soest (1991) states CP levels, among other reasons, are influenced by the age of the plant, because the more it advances in its maturation stage, the lower is the CP concentration.

Euclides et al. (1996) reported higher percentages of CP, both in the leaves and in the stems, of Marandu grass and Tanzania grass in the rain season. According to Costa (1995), the best cutting age of Marandu grass, in order to reconcile the best yield and better CP contents, prevails between 56 and 70 days of vegetative growth.

Neves et al. (1980), working with cultivars of Brachiaria, obtained average values of CP of 10.9 and 6.17 % for cuts at 30 and 60 days, respectively, after standardization. When evaluating the interaction type of pasture versus season, one can observe significant statistical differences.

The highest values of CP (%) were observed in the month of February, when it is also possible to verify the intercropped pasture obtained a higher value. This increase, when analyzed together with

the information presented in the interaction between grass type versus season of the year, indicates the addition of the leguminous increased the quality of the pasture as a function of the CP content.

Almeida et al. (2002), which evaluated the effect of the season on nutritional values of Marandu grass, found maximum CP levels in the rainy season (9.7 %) in relation to the dry season of the year (8.9 %).

Gerdes et al. (2000), working with *Brachiaria brizantha* cv. Marandu (*U. brizantha* cv. Marandu), measured different values between the seasons following autumn, winter, spring and summer, with average values of 18.6, 13.7, 12.8 and 11.4% CP in DM, higher values than those of the present study even though the authors obtained forage with 35 days of regrowth in a single cut per season.

Conclusion

According to the results, it can be concluded that there were increases in crude protein content in forages of *U. decumbens* cv. Basilisk and *U. brizantha* cv Marandu, in a consortium system with *Macrotyloma axillare* cv. Guatá, in the month of February, that is, in the summer season.

Teor de proteína bruta em cultivares de *Urochloa* em sistema de pastagem exclusiva ou consorciadas com *Macrotyloma axillare* cv. Guatá

Resumo

Objetivou-se com este trabalho avaliar o teor de proteína bruta de cultivares de *Urochloa* spp. (*U. brizantha* cv. Marandu e *U. decumbens* cv. Basilisk) dentro de um sistema de consórcio com *Macrotyloma axillare* cv. Guatá. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com quatro repetições, em esquema fatorial (2 x 2), em que foram estudados dois capins (*U. decumbens* e *U. brizantha*) e dois tipos de pastagens (consorciadas ou exclusivas adubadas com 60 kg de nitrogênio/ha), com medidas repetidas no tempo (amostragens em duas épocas do ano: fevereiro (verão) e agosto (inverno)). Posteriormente, amostras foram coletadas de um cano de PVC com 2 m de comprimento em quatro pontos de cada piquete, e a forragem cortada rente ao solo, com roçadeira costal acoplada com podador de cerca-viva de 0,5 m de comprimento, correspondendo a 0,5 x 2,0 m (1m² amostrado) para cada amostra. O material amostrado foi identificado, pesado e enviado para análise do teor de proteína bruta para avaliar a contribuição da leguminosa nos teores de proteína do capim. Não foram encontradas diferenças significativas quanto à interação tipo de capim vs. tipo de pasto para a variável proteína bruta, porém foram encontradas diferenças significativas quando avaliada a interação tipo de capim vs. época do ano, os maiores teores foram encontrados dentro do mês de fevereiro (verão), o que também ocorreu para a interação tipo de capim vs. época do ano. Concluiu-se que houve incrementos no teor de proteína bruta na *U. decumbens* cv. Basilisk e na *U. brizantha* cv. Marandu quando em consórcio com o *M. axillare* cv. Guatá no período do verão.

Palavras-chave: Forrageira. Leguminosa. Nitrogênio biológico. Qualidade de forragem.

References

- ALMEIDA, R. G.; NASCIMENTO JUNIOR, D.; EUCLIDES, V. P. B. Produção animal em pastos consorciados sob três taxas de lotação, no Cerrado. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 31, n. 2, p. 852-857, 2002. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbz/v31n2s0/21273.pdf> . Acesso em: 16 ago. 2018.
- ABIEC – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS EXPORTADORAS DE CARNES. **Perfil da Pecuária no Brasil**: Relatório Anual. p. 20-29, 2018. Disponível em: <http://abiec.siteoficial.ws/images/upload/sumario-pt-010217.pdf>. Acesso em: 23 jul. 2019
- ANUÁRIO DBO 2017: os números da pecuária. v. 35, n. 435, p. 14, 2017. Disponível em: https://issuu.com/portaldbo/docs/dbo_ed_435. Acesso em: 20 ago. 2018.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). **Official Methods of Analysis**. Washington, DC, p. 14-18, 1980. Disponível em: <https://archive.org/details/gov.law.aoc.methods.1980/page/n35> . Acesso em: 16 ago. 2018.
- CARVALHO, G. G. P.; PIRES, A. J. V. Leguminosas tropicais herbáceas em associação com pastagens. **Archivos de Zootecnia**, v. 57, p. 103-113. 2008. Disponível em: http://www.uco.es/organiza/servicios/publica/az/php/img/web/25_12_52_894UsoCarvalho.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2018.
- COSTA, N. L. Curva de crescimento e composição química de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em Rondônia. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 32., Brasília, 1995. **Anais...** Brasília: SBZ, 1995. v. 1, p. 38-40.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Centro Nacional e Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, 2006. p. 184. Disponível em: <https://www.agrolink.com.br/downloads/sistema-brasileiro-de-classificacao-dos-solos2006.pdf> . Acesso em: 22 ago. 2018.
- EUCLIDES, V. P. B.; MACEDO, M. C. M.; ZIMMER, A. H.; OLIVEIRA, M. P. Valores nutritivos de cinco gramíneas sob pastejo. In: REUNIAO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 33. 1996, Fortaleza. **Anais ...** Fortaleza: SBZ, 1996. v. 2, p. 90-92.
- GERDES, L.; WERNER, J. C.; COLOZZA, M. T.; CARVALHO, D. D.; SCHAMMASS, E. A. Avaliação de características agrônomicas e morfológicas das gramíneas forrageiras Marandu, Setária e Tanzânia aos 35 dias de crescimento nas estações do ano. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 29, n. 4, p. 947-954, 2000. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbz/v29n4/5605.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2018.
- MEIRELLES, N. M. F. Degradação de pastagens: critérios de avaliação. In: PAULINO, V. T.; ALCÂNTARA, P. B.; BEISMAN, D. A.; ALCÂNTARA, V. B. G. (Eds.). ENCONTRO SOBRE RECUPERAÇÃO DE PASTAGENS, 1., Nova Odessa (SP), 1993. **Anais...** Nova Odessa (SP): IZ, 1993. p. 27-48.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. Transformações bioquímicas e ciclo dos elementos no solo. **MICROBIOLOGIA E BIOQUÍMICA DO SOLO**. Lavras: UFLA, 2006, p.313-404. Disponível em: http://www.esalq.usp.br/departamentos/Iso/arquivos_aula/LSO_400%20Livro%20-%20Microbiologia%20e%20bioquimica%20do%20solo.pdf . Acesso em: 20 ago. 2018.

NEVES, M. P. H.; KASS, M. L.; SERRÃO, E. A. S. Introdução e avaliação preliminar de gramíneas do gênero *Brachiaria* na região de Belém, Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ZOOTECNIA, 1., 1980, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: UFC, 1980. p. 406-407.

PAULINO, V. P.; LUCENA, M. A. C.; GERDES, L.; COLAZZA, M. T.; BRAGA, G. J. Sustentabilidade de pastagens consorciadas. In: ENCONTRO TÉCNICO SOBRE LEGUMINOSAS FORRAGEIRAS - DESAFIOS E PERSPECTIVAS. 2., 2008, Nova Odessa. **Anais...** Instituto de Zootecnia, Nova Odessa (SP). Nova Odessa: IZ/APTA/SAA, 2008, p. 1-55. (CD ROOM).

RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Eds.). **Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Instituto Agrônomo de Campinas: IAC Campinas, 1997. 285p. (Boletim Técnico, 100).

RAO, M. B.; MATHUVA, M. N. Legumes for improving maize yield and income in semiarid Kenya. **Agriculture Ecosystems and Environment**, v. 78, p.123-137, 2000.

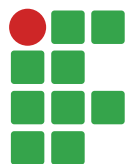
SAS INSTITUTE. **Statistical analysis system: user's guide: statistics**. Cary, NC, 2010.

SILVA, J. J.; SALIBA, E. O. S. Pastagens consorciadas: uma alternativa para sistemas extensivos e orgânicos. **Veterinária e Zootecnia**, v. 14, n. 1, p. 8-18, 2007.

WERNER, J. C.; COLOZZA, M. T.; MONTEIRO, F. A. Adubação de pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGEM, 18., 2001, Piracicaba. **Anais....** Piracicaba: FEALQ, 2001. v. 1, p. 129-156.

Received: October 3, 2017

Accepted: April 18, 2018



Organic compost and irrigation on weight and protein content of *Pereskia aculeata* leaves

Reginaldo Rodrigues de Andrade¹

João Antônio Galbiatti²

Carla Regina Amorim dos Anjos Queiroz³

Luiz Carlos Pavani⁴

Abstract

The *Pereskia aculeata* Mill. plant, known in Brazil as Ora-pro-nobis, is a non-conventional vegetable with high leaf protein content, however studies on the crop system of this leaf vegetable are scarce. Therefore, the objective of the present work was to evaluate the effect of organic compost (OC) rates and irrigation depths (ID) on leaf dry weight (LDW) and leaf protein content (LPC) for *P. aculeata* plants. The experiment consisted of five OC rates (0, 15%, 30%, 45%, and 60% of the substrate volume) and three ID (50%, 75%, and 100% of the reference evapotranspiration - E_{t_0}), with four replications. The analysis of variance by the F test ($\alpha = 5\%$ and 1%) and the interpretation of the interaction between the factors by response surface demonstrated the increase of ID from 50% to 100% E_{t_0} is more significant for the increasing in LDW than the increases in OC rates. The highest LDW accumulation was found by combining 33% OC in the substrate with ID of 100% E_{t_0} . The lowest LDW resulted from the combination of 60% OC and ID of 50%. The highest LPC was found with the use of 52% OC and ID of 69%, and the lowest with the ID of 100% and absence of OC in the substrate.

Keywords: Nutritional supplementation. Waste management. Non-conventional vegetable. Barbados gooseberry. Ora-pro-nobis.

Introduction

The Brazilian policy for solid waste (BRASIL, 2010) defines composting as destination of organic solid waste, resulting from a controlled biological decomposition process of it carried out by a diverse population of organisms under aerobic and thermophilic conditions, resulting in a stable material (BRASIL, 2017).

The use of organic compost obtained from the composting of agro-industrial and urban solid wastes is a form to reuse these materials and avoid their concentrated and inadequate deposition in the nature. This process allows the elimination of pathogens from organic waste at a low cost (COSTA et al., 2009; ORRICO JÚNIOR; ORRICO; LUCAS JÚNIOR, 2009; ORRICO JÚNIOR; ORRICO; LUCAS JÚNIOR, 2010) and is one of the most efficient ways to recycle organic waste for agricultural purposes, besides making it possible to recycle solid material with relatively low cost (TAIWO, 2011).

1 Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro, *Campus* Uberlândia, professor titular aposentado. reginaldo-andrade@iftm.edu.br. Av. dos Mognos 411, Jaraguá, Uberlândia/MG.

2 Universidade Estadual Paulista (UNESP), *Campus* Jaboticabal, Departamento de Engenharia Rural, professor titular. galbi@fcav.unesp.br.

3 Instituto Federal do Triângulo Mineiro, *Campus* Uberlândia, professora doutora. carlaregina@iftm.edu.br.

4 UNESP *Campus* Jaboticabal, professor assistente doutor aposentado, Departamento de Engenharia Rural. lcavani@fcav.unesp.br.

The use of organic composts for plant production can significantly reduce production costs; they increase nutrient supply, improve soil chemical (KIEHL, 2008) and physical properties by generating better soil aggregation, and affect soil water infiltration and retention capacities, drainage, aeration, temperature, and root penetration (PEREIRA; WILSEN NETO; NÓBREGA, 2013). They also promote the recycling of nutrients, contributing to the nutritional improvement of the soil-plant system (SILVA et al., 2012).

In a review paper on long-term effects of the addition of organic waste on soil fertility, Diacomio and Montemurro (2010) report such additions increase soil carbon content and, consequently, cation exchange capacity. This effect is due to the high negative charge of organic matter and it is important for nutrient retention and a balanced and gradual availability of macro and micronutrients to plants throughout the crop cycle, favoring nutrient availability from chemical fertilizers (SEDIYAMA et al., 2009; OLIVEIRA et al., 2010).

Pereskia aculeata Mill. is known as Ora-pro-nobis in Brazil. This species is native to the American tropics and its leaves have high protein content and absence of toxicity associated with high fiber content, making it a promising source of good quality food (TAKEITI et al., 2009; ALMEIDA et al., 2014). It has low cost, easy cultivation, and high nutrition value, and it can be consumed fresh and as processed food products, such as breads and cakes (MARTINEVSKI et al., 2013). Unconventional leaf vegetables, such as *P. aculeata*, are good alternative sources of protein (KINUPP; BARROS, 2008); furthermore, *P. aculeata* is popularly known as a medicinal plant (PINTO et al., 2012).

The growing of crops in protected environments avoids damages to plants caused by hail, frosts, rains, pest attack, and diseases (CALVETE et al., 2008). Therefore, in studies in which the effects of applying different water depths are analyzed, cultivation in protected environments can prevent or minimize the external effects of rains, and comparisons between treatments can be more accurate when considering the volumes of water received by the plants.

Pereskia aculeata is a leaf vegetable whose cultivation for economic purposes is still incipient. Few studies found in technical-scientific literature provide results on the response of this plant to different water irrigation depths. Queiroz et al. (2015) evaluated the growth of *P. aculeata* subjected to different soil matric potential (-10 kPa, -30 kPa, -50 kPa, and -70 kPa), the author controlled intermittent variation of these levels through application of manually controlled irrigation.

Using a water management that defines irrigation intervals and depths to be applied is important to meet the water needs of the plants, optimize the use of agricultural inputs, and obtain higher economic returns (BEZERRA et al., 2009).

Irrigation management under protected environment conditions can be based on soil, climate, and plant factors (FIGUEIRÊDO, 1998). However, agro-climate monitoring inside protected environments is difficult due to the small space for the installation of measuring equipments (FERNANDES; CORÁ; ARAÚJO, 2004) and the high cost for the acquisition of precise sensors. These difficulties can be minimized by using data from nearby official climatological stations, with calibrated sensors, to estimate crop water requirements under protected environments.

In this context, the objective of this work was to evaluate leaf dry matter and protein content accumulation in *P. aculeata* plants subjected to different irrigation depths and organic compost rates mixed to the soil.

Material and methods

The experiment was developed in the seedling nursery in the Federal Institute of the Triângulo Mineiro, Uberlândia, Minas Gerais, Brazil (18°45'48''S, 48°17'20''W, and altitude of 633 m). The seedling nursery facility had height of 2.6 m to 3.7 m, length of 27.2 m, width of 3.8 m, and north-south longitudinal projection. Its top and side walls were covered with a 150- μ m transparent plastic film, and the front and back walls were covered with 50% shade screen. This place was used to create a protected environment to enable total control of the irrigation depths applied to the treatments.

The experiment was conducted in a completely randomized design with a 5 \times 3 factorial arrangement (5 substrates rates and 3 irrigation depths) consisted of 15 treatments, with four replications and two plants per replication.

The substrates were composed of a mixture of soil, medium-size sand, and organic compost (TABLE 1).

Table 1. Percentage and volumetric composition of the substrates used for planting the cuttings of *Pereskia aculeata* Mill.

Substrate	Organic compost		Medium-size sand		Soil ^(a)	
	(%)	Volume (cm ³)	(%)	Volume (cm ³)	(%)	Volume (cm ³)
S1	0	0	60	1020	40	680
S2	15	255	45	765	40	680
S3	30	510	30	510	40	680
S4	45	765	15	255	40	680
S5	60	1020	0	0	40	680

^(a) typical dystroferric Red Latossolo (Oxisol) (EMBRAPA, 2009).

Source: Andrade (2012).

The organic compost used in the substrate was produced by composting of solid organic residues from agro-industries of Uberlândia, MG, Brazil. The medium-size sand from a river was washed and shade dried on a cemented clean surface for 120 hours. The soil used was from the 0 to 20 cm layer; it was shade dried under the same conditions and time as the sand. Before mixing these materials according to the proportions defined in Table 1, each component was separately sieved in a 4-mm mesh sieve, and soil and organic compost samples were collected for soil physical and chemical analysis and organic compost chemical analysis, including its potentially toxic elements (TABLE 2).

Table 2. Chemical properties of the organic compost (OC) and chemical and physical properties of the soil used in the experiment.

Chemical properties												
	pH (H ₂ O)	D g cm ⁻³	Kcmol _c dm ⁻³	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	t	T	V%.....	m
Soil	5.9	1.27	0.21	2.4	1.3	0	4.0	3.9	3.9	7.9	49	0
OC	6.7	0.69	34.3	109	36	---	---	---	--	---	---	---
	MO g dm ⁻³	B	Cumg kg ⁻¹	Fe	Mn	Zn	Na	P mg kg ⁻¹	S g kg ⁻¹	N	C/N	
Soil	24	0.13	3.0	23	30.8	0.8	---	6.3	---	---	---	
OC	398	18	200	34134	706	284	2746	19800	6200	9.6	15/1	
Physical properties						Potentially toxic elements						
Soil	Clay	Silt	Fine sand g kg ⁻¹		Coarse sand		OC	Ni	Pb	Cd	Cr mg kg ⁻¹	
	791	147	49		13			-	-	-	10.5	

D = density; H + Al = potential acidity; SB – sum of bases; t = effective cation exchange capacity (CEC); T = CEC at pH 7.0; V = base saturation; m = aluminum saturation; OM = organic matter; C/N = carbon to nitrogen ratio.

Source: Andrade (2012).

The substrates were prepared in the proportions presented (TABLE 1) for each treatment and individually placed in plastic bags with 2.66 g of the 4-14-8 NPK fertilizer (N:P₂O₅:K₂O) (TOFANELLI; RESENDE, 2011) and dolomitic limestone (100 % total neutralizing power) at sufficient quantity to raise soil base saturation to 70 %. The addition of fertilizer to all treatments made possible to compare the effect of OC rates on the development of plants.

The substrates were then homogenized and placed into pots with a capacity of 1,700 cm³, and 630, 620, 660, 690, and 695 mL of water were added to the S1, S2, S3, S4, and S5 substrates, respectively, considering these mean water volumes as the pot capacities of each treatment. These water volumes were obtained by calculating the means of the differences between the volumes added until the beginning of drainage of the excess water in the pot bottom and the volume drained after this beginning in 3 pots of each treatment. The volumes added and drained were measured with test tubes.

The surfaces of the pots were covered with filter paper and the water was manually dispensed on it using test tubes for a uniform water distribution and infiltration over the whole surface of the substrate in the pots. The pots were then covered with plastic films with two holes—for gas exchange—fixed with rubber bands and incubated for 11 days. After incubation, the substrates were analyzed for chemical characteristics (TABLE 3).

Table 3. Chemical properties of the substrates after incubation.

OC (%)	pH	P	K	Ca	Mg	Al	H ⁺ _{Al}	SB	t	T	V	m
	(H ₂ O)	mg dm ⁻³	----- cmol _c dm ⁻³ -----					%				
0	6.0	17.1	0.26	2.7	1.2	0	2.0	4.16	4.16	6.16	68	0
15	6.4	151.0	1.40	7.8	3.2	0	1.8	12.30	12.38	14.18	87	0
30	6.5	208.4	3.51	8.5	4.1	0	1.7	16.00	16.05	17.75	90	0
45	6.4	238.0	4.89	16.3	3.3	0	1.8	24.40	24.41	26.21	93	0
60	6.5	248.5	6.76	34.8	2.4	0	1.9	43.80	43.85	45.75	96	0

H + Al = potential acidity; SB = sum of bases; t = effective cation exchange capacity (CEC); T = CEC at pH 7.0; V = base saturation; m = aluminum saturation.

Source: Andrade (2012).

The irrigation was performed manually, using irrigation depths corresponding to 50% (ID₅₀), 75% (ID₇₅), and 100% (ID₁₀₀) of the reference evapotranspiration (Et₀) and 3-day irrigation shifts. Et₀ was estimated daily, using the Penman-Monteith equation, according to the FAO-56 model (ALLEN et al., 2006). The ID₁₀₀ corresponded to the accumulated Et₀ in the 3-day interval between two consecutive irrigations. Meteorological data external to the protected environment were used, which were obtained from an official automated station of the Brazilian Institute of Meteorology (INMET) at the Federal University of Uberlândia (18°54'59"S, 48°15'W, and altitude of 869 m) at 17.3 km from the experiment area. The accumulated Et₀ every 3 days ranged from 2.09 to 6.32 mm during the experiment, corresponding to the ID of 100% Et₀ (ID₁₀₀). This value was used to calculate the percentages of 50% (ID₅₀ = 0.5ID₁₀₀) and 75% (ID₇₅ = 0.75ID₁₀₀) of Et₀.

The planting of the seedlings was performed using 120 stem cuttings with diameters ranging from 10.2 to 14.0 mm from a single *Pereskia aculeata* plant. These cuttings were disinfected by immersion in a sodium hypochlorite solution (0.5%) for 5 minutes, washed in running water for 5 minutes, and individually planted in the pots. The pots were randomly distributed in four rows on a 1.2 m by 10.0 m wooden bench, with spacing of approximately 0.20 × 0.25 m. The pots were rotated (tip, line, and axis) every 6 days to reduce possible shading, wind, and temperature differences.

The plants were cut at 122 days after planting (DAP) and washed, and the leaves were dried at 65 °C for 84 hours in a forced air-circulation oven to evaluate their dry weight (LDW). Total nitrogen concentration in the leaves were determined according to the Kjeldahl method (IAL, 2008), and the results were multiplied by 5.75 to obtain the protein content, according to the resolution RDC nº 360 of December 23, 2003 of National Agency of Sanitary Vigilance - ANVISA (BRASIL, 2003). The results were subjected to analysis of variance by the F test ($\alpha = 5\%$ and 1%) and the interaction between the factors was evaluated by response surface.

The temperature and relative air humidity in the indoor environment where the plants were grown were measured using a digital thermohygrometer (Inconterm®), whose sensors register temperatures from -50 to +70 °C, with a 0.1 °C resolution and precision of ± 1 °C, and relative air humidity from 25% to 98% with a resolution of 1% and accuracy of $\pm 5\%$. The minimum and maximum temperatures were 5.5 to 18.1 °C and 26.7 to 46.9 °C, with averages of 11.8 and 41.1 °C, respectively; the minimum and maximum relative air humidity were 13% to 76% and 68% to 99%, with averages of 22.2% and 87.2%, respectively.

Results and discussion

The leaf dry weight (LDW) and leaf protein content (LPC) of the *Pereskia aculeata* plants were affected by the organic compost (OC) rates in the substrate and irrigation depths (ID) ($p < 0.01$). However, the effect of these factors on LDW and LPC cannot be analyzed independently since these variables responded significantly ($p < 0.05$) to the interaction between OC and ID (TABLE 4). Lopes, Guerrini and Saad (2007) evaluated eucalyptus seedlings and found similar results, with effect of the substrates and irrigation depths on the shoot dry weight of the plants.

Table 4. Analysis of variance for the dry weight and protein content in leaves of *Pereskia aculeata* Mill. at 122 days after planting the cuttings.

Sources of variation	^(a) Dry weight	Protein content
	F	F
Organic compost (OC)	9.04**	8.14**
Irrigation depths (ID)	43.80**	86.24**
OC x ID	2.38*	2.41*
^(b) CV (%)	6.56	4.77

^(a) Results transformed into $\log(x+5)$; ^(b) Coefficient of variation; ** and * = significant at 1% and 5% probability, respectively, by the F test.

Source: Andrade (2012).

The interpretation on the effects of the interaction between OC and ID was based on the response surface model. The results were applied to this model and it was possible to interpolate the behavior of the interaction between the values of the pre-established treatments. The interaction was significant ($p < 0.01$) for LDW, according to Equation (1) (TABLE 5); the highest LDW was obtained with the combination of 33% OC in the substrate and ID of 100% Et_0 , whereas the lowest was found from the combination of the highest OC rate (60%) with the lowest ID (50% Et_0).

Table 5. Statistics, response surface model Equation (1), maximum and minimum values and respective combinations between the percentage of organic compost in the substrate (x – compost - %) and irrigation depths (y – depth - % Et_0), for the leaf dry weight (LDW) of *Pereskia aculeata* Mill. at 122 days after planting the cuttings.

Regression	F	p	R ²		
Fitted model	7.79**	0.0043	0.81		
Equation (1)					
LDW = 0.683393 + 0.003943x + 0.00226y - 0.000104x ² + 0.000030101xy - 0.000002576y ² (1)					
Estimated data by equation (1)	Maximum			Minimum	
	Minimum	Compost (%)	Irrigation (% Et_0)	Compost (%)	Irrigation (% Et_0)
Transformed z = Log (MSF + 5)	1.05	0.76	33	100	60
^(c) LDW (g plant ⁻¹)	6.25	0.69			50

^(c) converted value: LDW = 10^z - 5.

Source: Andrade (2012).

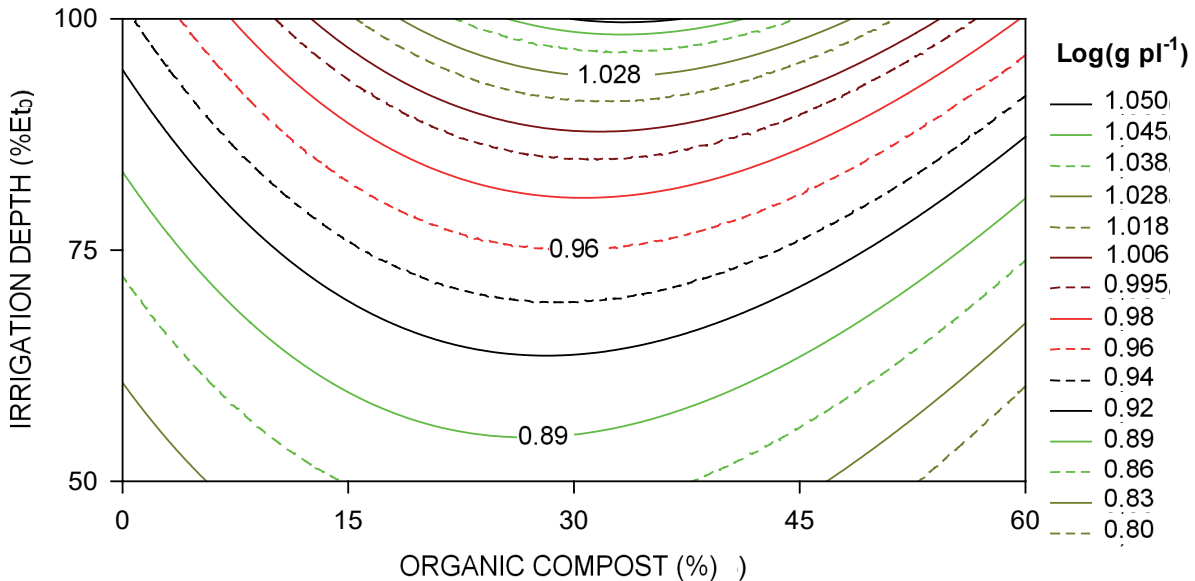
The LDW accumulation responded positively to the increase in ID from 50% to 100% E_t_0 in all OC rates in the substrate, while increasing the OC rate within each ID increased the LDW until the OC rates of 30% to 33%; OC rates higher than these decreased LDW (FIGURE 1).

This was also found by Lui, Galbiatti and Malheiros (2008) who evaluated irrigation with 50%, 75%, 100%, and 130% E_t_0 interacting with urban waste rates (20% to 100%) added to two soil types for growing eucalyptus seedlings and found an inverse relation of increasing waste rates and growth, number of leaves, and number of surviving plants.

Lopes, Guerrini and Saad (2007) evaluated eucalyptus using ID of 6 to 14 mm and substrates containing pine bark, charcoal, peat, and vermiculite and found that ID of 12 mm and 14 mm contributed the most to the development of *Eucalyptus grandis* seedlings, which presented optimum quality at 108 days after sowing.

Queiroz et al. (2015) also found effect of increasing irrigation depths on *Pereskia aculeata* grown with substrate composed of soil, medium-size sand, and bovine manure at 6:3:1 volume ratio, from pre-rooted cuttings. They found a linear increased in the LDW ($p < 0.01$) by 120 days after planting with a 60% increase in the water irrigation volume, due to the decrease of potassium in the substrate from -10 kPa to -70 kPa, when using a decreasing intermittent water deficit.

Figure 1. Response surface for leaf dry weight (LDW) accumulation in *Pereskia aculeata* Mill. as a function of organic compost rates in the substrate (%) and irrigation depths (% E_t_0), at 122 days after planting of the cuttings. Data transformed into log (LDW + 5).



Source: Andrade (2012).

The application of Equation (1) (TABLE 5) showed the LDW percentage increases with increasing ID, within each OC rate in the substrate, were greater from 50% to 75% E_t_0 (from 61.2% with 15% OC to 236.2% in 60% OC) than from 75% to 100% E_t_0 (from 47.3% in 15% OC to 93.4% in 60% OC). Regarding the percentages of OC, the highest LDW percentage increases occurred from 0% to 15% CO for all ID, with decreasing additions for increasing ID (from 67.7% to 50% E_t_0 to 48.7% for 100% E_t_0).

However, from 15% to 30%, the percentage increases of the LDW increased with increasing ID; and from 30% or 33%, LDW presented decreases, which were smaller with increasing ID. The greatest LDW decreases occurred from 45% to 60% OC, which were, in decreasing order, from 63% to 50% Et_0 , from 36% to 75% Et_0 , and from 24% to 100% Et_0 .

Regarding the leaf protein content, the response surface model was significant ($p < 0.01$) and resulted in Equation 2 (TABLE 6). The application of this equation and the interpretation of the isolines (FIGURE 2) showed the combination of 52% OC in the substrate with ID of 69% Et_0 resulted in the maximum leaf protein content (24.4%), while the minimum (16.6%) resulted from 0% OC with the ID of 100% Et_0 .

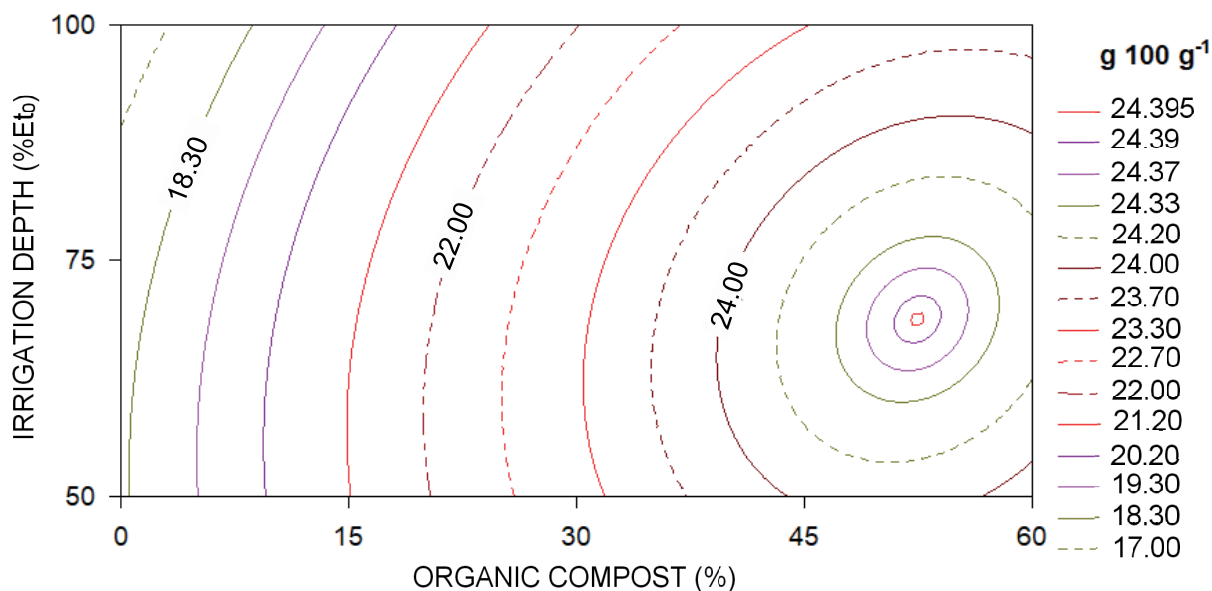
Table 6. Statistics and regression equation for response surface (2), maximum and minimum values, and respective combinations between organic compost percentage in the substrate (x - compost - %) and irrigation depths (y - depth - % Et_0), for leaf protein content in *Pereskia aculeata* Mill., at 122 days after planting the cuttings.

Regression	F	p	R ²		
Degree 2	34.56**	<0.0001	0.95		
Equation (2)					
$\text{Protein} = 15.724807 + 0.209154x + 0.092724y - 0.002349x^2 + 0.00054xy - 0.00088y^2$ $(2) z = -0.115417 + 0.005564x + 0.00652y - 0.00013x^2 + 0.000032333xy - 0.0000308y^2$					
Variable	Content (g 100 g ⁻¹)		Maximum	Minimum	
	Minimum	Compost (%)	Irrigation (% Et_0)	Compost (%)	Irrigation (% Et_0)
Maximum 24.4	16.2	52	69	0	100

Source: Andrade (2012).

Increasing the OC percentage in the substrate up to 52% for each ID increased the leaf protein content; and the percentage increase in all ID occurred with the increase in OC from 0% to 15% (16.6% in ID from 50% to 21.1% in ID of 100%). After 15%, the increases in OC expanded by a less percentage the leaf protein content until no more changes occurred after 45% OC. Considering the increase in ID within each OC rate in the substrate, there was a gradual decrease in leaf protein content with increasing ID for all OC rates. The greatest percentage reductions always occurred with increasing ID from 75% to 100% Et_0 . Similar results on the effect of increasing ID on leaf protein content in *P. aculeata* were found by Queiroz et al. (2015), who found a linear decrease ($p < 0.01$) in leaf protein content with an increase of 60% in the water irrigation depth, resulting from increasing the substrate matric potential from -70 kPa to -10 kPa, in *P. aculeata* plants grown for 120 days in a substrate consisted of soil, medium-size sand, and cattle manure at 6:3:1 volume ratio.

Figure 2. Response surface for leaf protein content in *Pereskia aculeata* Mill. as a function of organic compost rates in the substrate and irrigation water depths at 122 days after planting the cuttings.



Source: Elaborated by the authors (2019)

According to the isolines (FIGURE 2), the leaf protein content was more strongly affected by the OC percentage in the substrate than by the ID within the percentages of the two treatments evaluated in this experiment.

The positive effect of increasing OC percentage was also found by Souza et al. (2005) in lettuce; the crude protein content of lettuce shoots was affected only by the organic compost rates and not by the mineral fertilization; crude protein contents increased linearly with increasing rates of organic compost up to 160 Mg ha⁻¹; for each increase of 1 Mg ha⁻¹ of organic compost there was a 0.02% increase in the shoot crude protein content of the lettuce plants.

Conclusions

Irrigation water depths and organic compost rates inversely affect leaf dry weight and protein content accumulation in *Pereskia aculeata* plants. The combination of 33% organic compost on the substrate with an irrigation depth of 100% Et₀ provides the greatest leaf dry weight accumulation. The maximum leaf protein content is achieved with 52% organic compost combined with an irrigation depth of 69% Et₀.

Composto orgânico e irrigação influenciando a massa e o teor proteico em folhas de Ora-pro-nóbis

Resumo

O manejo dos resíduos orgânicos e da irrigação e a presença de hortaliças na alimentação são demandas atuais, a Ora-pro-nóbis (*Pereskia aculeata* Mill.) é uma hortaliça não convencional com alto teor de proteína nas folhas, entretanto estudos sobre o cultivo sistematizado dessa hortaliça

folhosa são praticamente inexistentes. Em vista do exposto, o objetivo deste trabalho foi estudar o efeito da utilização de composto orgânico (CO) e de lâminas de irrigação (LI) na produção de massa seca (MSF) e no teor de proteínas (TPF) nas folhas. Para isso, realizou-se experimento com cinco doses de CO (0, 15%, 30%, 45% e 60% do volume do substrato) e três níveis de LI (50%, 75% e 100% da evapotranspiração de referência - E_{t_0}), com quatro repetições. A variância analisada pelo Teste F ($\alpha = 5\%$ e 1%) e a interpretação dos resultados da interação entre os fatores por superfície de resposta permitiram verificar que o aumento da LI de 50% para 100% da E_{t_0} é mais importante para o ganho de MSF do que o aumento das doses do CO. Assim, o maior acúmulo de MSF foi conseguido por meio da combinação de 33% de CO no substrato com LI de 100% da E_{t_0} . O menor acúmulo resultou da combinação de 60% de CO com a LI de 50% da E_{t_0} . O máximo TPF foi alcançado com 52% de CO e LI de 69% da E_{t_0} e o mínimo com a LI de 100% da E_{t_0} e ausência de CO no substrato. **Palavras-chave:** Complementação nutricional. Gestão de resíduos. Hortalça não convencional. *Pereskia aculeata* Miller.

Referências

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Determinación de la E_{t_0} . In: **Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos**. Cap 4, p. 65 a 86. Roma: Estudio FAO - Riego y Drenaje 56. 2006. 298 p.

ALMEIDA, M. E. F.; JUNQUEIRA, A. M. B.; SIMÃO, A. A.; CORRÊA, A. D. Caracterização química das hortaliças não convencionais conhecidas como ora-pro-nóbis. **Bioscience Journal**, v. 30, p. 431-439, 2014. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/17555/14557>. Acesso em: 15 jan. 2018.

ANDRADE, R. R. **Substrato e Irrigação em Ora-pro-nóbis (*Pereskia aculeata* Mill.)**. 90 f. Tese (Doutorado em Agronomia – Ciência do Solo) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2012. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/100843>. Acesso em: 10 dez. 2017.

BEZERRA, J. R. C.; DIAS, J. M.; PEREIRA, J. R.; GUEDES, F. X. **Consumo hídrico do algodoeiro BRS 200 Marron**. Campina Grande: EMBRAPA, 2009. 10 p. (Circular Técnica 129). Disponível em: <https://www.cnpa.embrapa.br/destaques/2010/CIRTEC129.pdf>. Acesso em: 08 jan. 2018.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA. Resolução de Diretoria Colegiada – RDC nº 360, de 23 de dezembro de 2003. **Regulamento técnico sobre rotulagem nutricional de alimentos embalados**. Disponível em: http://portal.anvisa.gov.br/documents/33880/2568070/res0360_23_12_2003.pdf/5d4fc713-9c66-4512-b3c1-afee57e7d9bc. Acesso em: 14 jan. 2018.

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Lei nº 12305, de 2 de agosto de 2010**. Dispõe sobre a gestão integrada e o gerenciamento de resíduos sólidos. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 08 dez. 2017.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução nº 481, de 3 de outubro de 2017**. Dispõe sobre o controle e a qualidade ambiental do processo de compostagem de resíduos orgânicos. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=728>. Acesso em: 20 jan. 2018.

CALVETE, E. O.; MARIANI, F.; WESP, C. L.; NIENOW, A. A.; CASTILHOS, T.; CECCHETTI, D. Fenologia, produção e teor de antocianinas de cultivares de morangueiro em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 30, n. 2, p. 396-401, 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbf/v30n2/a22v30n2>. Acesso em: 14 jan. 2018.

COSTA, M. S. S. M.; COSTA, L. A. M.; DECARLI, L. D.; PELÁ, A.; SILVA, C. J. da; MATTER, U. F.; OLIBONE, D. Compostagem de resíduos sólidos de frigorífico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 1, p. 100-107, 2009. Disponível em: <http://www.agriambi.com.br/revista/v13n1/index.htm>. Acesso em: 10 jan. 2018.

DIACOMO, M.; MONTEMURRO, F. Long-term effects of organic amendments on soil fertility. A review. **Agronomy for Sustainable Development, Agronomy**. v. 30, n. 2, p. 401-422, 2010. Disponível em: <https://hal.archives-ouvertes.fr/file/index /docid/886539/filename/hal-00886539.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2018.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMPRAPA). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Cap. 10. p. 161-176 2. ed. Rio de Janeiro, 2006. 306 p. Disponível em: <https://www.agrolink.com.br/downloads/sistema-brasileiro-de-classificacao-dos-solos2006.pdf>. Acesso em: 11 jan. 2017.

FERNANDES, C.; CORA, J. E.; ARAÚJO, J. A. C. Utilização do tanque Classe A para a estimativa da evapotranspiração de referência dentro da casa de vegetação. **Engenharia Agrícola**, v. 24, n. 1, p. 46-50, 2004. Disponível em: <http://www.scielo.br /pdf/eagri/v24n1/v24n01a06.pdf>. Acesso em: 7 jan. 2018.

FIGUEIRÊDO, S. F. Estabelecimento do momento de irrigação com base na tensão de água no solo para a cultura do feijoeiro. USP-ESALQ. 72f. 1998. **Dissertação (Mestrado)**. Universidade de São Paulo, ESALQ, Piracicaba, SP, 1998.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ (IAL). **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. Cap. 4, p. 83-158, 4. ed. São Paulo: IAL, 2008. 1020 p. Disponível em: http://www.ial.sp.gov.br/resources/editorinplace/ial/2016_3_19/analisedealimentosial_2008.pdfhttp://www.ial.sp.gov.br/resources/editorinplace/ial/2016_3_19/analisedealimentosial_2008.pdf. Acesso em: 06 jan. 2018.

KIEHL, E. J. **Adubação Orgânica**. Piracicaba: Degaspari, 2008. p. 5-6. 227 p.

KINUPP, V. F.; BARROS, I. B. I. Teores de proteína e minerais de espécies nativas, potenciais hortaliças e frutas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 4, p. 846-857, 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/cta/v28n4/a13v28n4.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2018.

LOPES, J. L. W.; GUERRINI, I. A.; SAAD, J. C. C. Qualidade de mudas de eucalipto produzidas sob diferentes lâminas de irrigação e dois tipos de substrato. **Revista Árvore**, v.

31, n. 5, p. 835-843, 2007. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-67622007000500007. Acesso em: 11 jan. 2018.

LUI, J. J.; GALBIATTI, J. A.; MALHEIROS, E. B. Efeito da irrigação e utilização de lixo orgânico na formação de mudas de eucalipto. **HOLOS Environment**, v. 8, n. 2, p. 179-194, 2008. Disponível em: <https://www.cea-unesp.org.br/holos/article/viewFile/3033/2521>. Acesso em: 14 jan. 2018.

MARTINEVSKI, C. S.; OLIVEIRA, V. R. de; RIOS, A. O.; FLORES, A. O.; VENZKE, J. G. Utilização de bertalha (*Anredera cordifolia* (TEN.) Steenis e Ora-pro-337 nóbis (*Pereskia aculeata* Mill.) na elaboração de pães. **Alimentos e Nutrição**, v. 24, n. 3, p. xx-xx, 2013. Disponível em: <http://serv-bib.fcfar.unesp.br/seer/index.php/alimentos/article/viewFile/267/2251>. Acesso em: 11 jan. 2018.

OLIVEIRA, A. S. E.; SÁ, J. R. de; MEDEIROS, J. F. de; NOGUEIRA, N. W.; SILVA, K. J. P. da. Interação da adubação organo-mineral no estado nutricional das plantas. **Revista Verde**, v. 5, n. 3, p. 53-58, 2010. Disponível em: <http://docplayer.com.br/52074286-Interacao-da-adubacao-organo-mineral-no-estado-nutricional-das-plantas.html>. Acesso em: 14 jan. 2018.

ORRICO JÚNIOR, M. A. P.; ORRICO, A. C. A.; LUCAS JÚNIOR, J. de. Compostagem da fração sólida da água residuária de suinocultura. **Engenharia Agrícola**, v. 29, n. 3, p. 483-491, 2009. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-69162009000300015&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 12 jan. 2018.

ORRICO JÚNIOR, M. A. P.; ORRICO, A. C. A.; LUCAS JÚNIOR, J. Compostagem dos resíduos da produção avícola: cama de frangos e carcaça de aves. **Engenharia Agrícola**, v. 30, n. 3, p. 538-545, 2010. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-69162010000300017&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 11 jan. 2018.

PEREIRA, C. C.; WILSEN NETO, A.; NÓBREGA, L. H. P. Adubação orgânica e algumas aplicações agrícolas. **Varia Scientia Agrárias**, v. 3, n. 2, p. 159 a 174, 2013. Disponível em: <file:///C:/Users/Master/Desktop/Downloads/3813-30721-1-PB.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2018.

PINTO, N. C. C.; SANTOS, R. C. dos; MACHADO, D. C.; FLORÊNCIO, J. R.; FAGUNDES, E. M. S.; ANTINARELLI, L. M. R.; COIMBRA, E. S.; RIBEIRO, A.; SCIO, E. Cytotoxic and antioxidant activity of *Pereskia aculeata* Miller. **Pharmacology on-line**, v. 3, p. 63-69, 2012. Disponível em: https://pharmacologyonline.silae.it/files/archives/2012/vol3/PhOL_2012_3_A009_015_Nicolas.pdf. Acesso em: 14 jan. 2018.

QUEIROZ, C. R. A. A.; ANDRADE, R. R. de; MORAIS, S. A. L.; PAVANI, L. C. Growing *Pereskia aculeata* under intermittent irrigation according to levels of matric potential reduction. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, n. 1, p. 1-8, 2015. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1983-40632015000100008. Acesso em: 07 jan. 2018.

SEDIYAMA, M. A. N.; VIDIGAL, S. M.; SANTOS, M. R. dos; SALGADO, L. T. Rendimento de pimentão em função da adubação orgânica e mineral. **Horticultura Brasileira**, v. 27, n. 3, p. 294-299, 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/hb/v27n3/v27n3a06>. Acesso em: 15 jan. 2018.

SILVA, A. A.; COSTA, A. M. da; LANA, R. M. Q.; LANA, A. M. Q. Recycling of nutrients with application of organic waste in degraded pasture. **Engenharia Agrícola**, v. 32, n. 2, p. 405-414, 2012. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-69162012000200020&script=sci_arttext&lng=pt. Acesso em: 08 jan. 2018.

SOUZA, P. A.; NEGREIROS, M. Z. de; MENEZES, J. B.; BEZERRA NETO, F.; SOUZA, G. L. F. M.; CARNEIRO, C. R.; QUEIROGA, R. C. F. de. Características químicas de folhas de alface cultivada sob efeito residual da adubação com composto orgânico. **Horticultura Brasileira**, v. 23, n. 3, p. 754-757, 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/hb/v23n3/a13v23n3>. Acesso em: 16 jan. 2018.

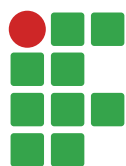
TAIWO, A. M. Composting as a sustainable waste management technique in developing countries. **Journal of Environmental Science and Technology**, v. 4, n. 2, p. 93-102, 2011. Disponível em: <http://docsdrive.com/pdfs/ansinet/jest/2011/93-102.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2018.

TAKEITI, C. Y.; ANTONIO, G. G.; MOTTA, E. M.; COLLARES-QUEIROZ, F. P.; PARK, K. J. Nutritive evaluation of a non-conventional leafy vegetable (*Pereskia aculeata* Miller). **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, v. 60, n. 1, p. 148-160, 2009. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09637480802534509>. Acesso em: 12 jan. 2018.

TOFANELLI, M. B. D.; RESENDE, S. G. Sistema de condução na produção de folhas de Ora-pro-nóbis. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 3, p. 466-469, 2011. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1983-40632011000300021&lng=en&nrm=iso&lng=pt. Acesso em: 16 jan. 2018.

Received: February 16, 2018

Accepted: April 25, 2018



In vitro addition of DHA and IGF-I increases the progressive motility of cryopreserved stallion semen

Daiane Moreira Silva¹

Shauna Ann Holden²

José Camisão de Souza³

Sean Fair⁴

Abstract

High seminal quality is important to achieve acceptable pregnancy rate following artificial insemination with cryopreserved semen in the equine industry. Docosahexaenoic acid (DHA) is an omega-3-polyunsaturated acid, which improves the integrity of the spermatozoa membrane during temperature changes. Insulin-like growth factor-I (IGF-I) is a protein hormone that helps mainly glucose to enter spermatozoa and it is an antioxidant. The aim of this study was to assess the effect of the *in vitro* addition of DHA in combination with IGF-I to frozen-thawed stallion semen. Three ejaculates from each of three Irish Sport Horse stallions were collected, the gel fraction was removed and semen was diluted in a 1:1 ratio using extender, centrifuged (1.000 g) for 10 minutes at 32 °C and resuspended to 100 x 10⁶ spermatozoa/mL in freezing extender. Semen was cooled to 4 °C, packed into 0.5 mL straws, frozen and stored under liquid nitrogen at -196 °C. Straws were thawed at 37 °C for 30 seconds, semen was diluted to 25 x 10⁶ spermatozoa/mL and split in four treatments adding 0 or 1 ng of DHA /mL and 0 or 100 ng of IGF-I /mL: DHA0, DHA0 + IGF-I, DHA1 and DHA1 + IGF-I. Semen was incubated at 32 °C and after 30 minutes, total motility (TM), rapid progressive motility (PM), viability and acrosome integrity were assessed. After 60 and 120 minutes, TM and PM were assessed again. Post-thawed PM was higher ($P < 0.05$) when DHA1 + IGF-I was added, but there was no effect of the addition of DHA and IGF-I to TM, viability or acrosome integrity ($P > 0.05$).

Keywords: Equine. Spermatozoa. Omega-3. Antioxidant. Hormone.

Introduction

The use of frozen-thawed stallion semen allows genetics to be transported across countries and to be stored for long periods (WU et al., 2015). However, as cryopreservation is a technique that preserves semen to -196 °C, it induces partially irreversible damage to spermatozoa that results in reduced fertility compared to fresh or cooled semen (MORAES et al., 2015), and approximately 50% of the stallions are not suitable for the production of cryopreserved semen (LOOMIS; GRAHAM, 2007). Cryoinjury of spermatozoa is mainly represented by membrane damage because of physical,

1 Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais (IFSULDEMINAS), animal science professor. daiane.moreira@ifsuldeminas.edu.br. Rodovia Machado – Paraguaçu, km 3, Bairro Santo Antônio, Machado (MG), 37750-000.

2 Teagasc, postdoctoral researcher. holdenshauna@gmail.com.

3 Universidade Federal de Lavras, animal science professor. jcamisao@dzo.ufla.br.

4 University of Limerick, senior lecturer/researcher. sean.fair@ul.ie.

osmotic and oxidative stress due to extracellular ice formation during the phase transition from liquid to frozen (PENA et al., 2011).

One way to improve stallion post-thaw semen quality is through the addition of different cryoprotectants as glycerol, methyl formamide (WU et al., 2015), cholesterol (BLOMMAERT et al., 2016) or cholestanol (MORAES et al., 2015) into extenders. Another way is by adding substances such as growth hormone (CHAMPION et al. 2002), caffeine or pentoxifylline (MILANI et al., 2010; BARAKAT et al., 2015) after thawing in an attempt to improve mainly post-thawed motility.

Semen from all domestic species contains high levels of polyunsaturated fatty acids (PUFA), in particular, docosahexaenoic acid (DHA) and docosapentaenoic acid (PARKS; LYNCH, 1992). Docosahexaenoic acid is an omega-3 PUFA which has been shown to improve the integrity of the spermatozoa cell membrane (SCHMID-LAUSIGK; AURICH, 2014) during temperature changes. PUFA, especially DHA, is correlated with human spermatozoa motility and viability after freezing/thawing (MARTÍNEZ-SOTO et al., 2013). Moreover, it is known the addition of DHA to an extender causes significant improvements in the *in vitro* characteristics of bull (NASIRI et al., 2012) and boar (CHANAPIWAT et al., 2009; KAEOKET et al., 2010) spermatozoa, and supplementation of DHA in the diet improves stallion semen quality (BRINSKO et al., 2005). Thus, the addition of DHA to post-thawed stallion semen might increase the incorporation of DHA in the spermatozoa membrane and consequently improve stallion semen quality after cryopreservation.

It is possible to improve the stallion semen quality by addition of insulin-like growth factor-I (IGF-I) to extenders (CHAMPION et al., 2002). IGF-I is a protein hormone that helps glucose (HERNANDEZ-GRAZÓN et al., 2016) and other energy sources as fructose (SELVARAJU et al., 2009), lactate and oxygen to enter the cell (TRAVASCIO et al., 2014), resulting in improved mitochondrial membrane potential during hypothermic storage of semen (SHIN et al., 2014). Also, there is a relevant function for IGF-I in β -oxidation and cholesterol synthesis and this growth factor has an important antioxidant activity (DE ITA et al., 2015) by stimulation of glutathione peroxidase. In general, IGF-I has been shown to improve the quality of bovine (HENRICKS et al., 1998), bubaline (SELVARAJU et al., 2016), ovine (MAKAREVICH et al., 2012; PADILHA et al., 2012), swine (SILVA et al., 2011) and canine (SHIN et al., 2014) spermatozoa. In addition, post-thawed supplementation of IGF-I has improved semen quality in buffalo spermatozoa (SELVARAJU et al., 2009; SELVARAJU et al., 2010). Stallion seminal plasma has approximately 20 ng of IGF-I per mL (LACKEY et al., 2002), Macpherson et al. (2002) demonstrated first-cycle pregnancy rate was greater when stallions had high concentration of IGF-I (10.2 ng of IGF-I per mL; pregnancy rate of 76%) compared to stallions with low concentration of IGF-I (0.7 ng of IGF-I per mL; pregnancy rate of 55%) in the seminal plasma.

However, there is no study in the published literature which has reported the effects of the DHA in combination with IGF-I in the stallion spermatozoa. Thus, the aim of this study was to assess the effect of the addition of DHA and IGF-I to frozen-thawed stallion semen on a range of *in vitro* spermatozoa quality parameters.

Material and methods

Experimental design

The experiment was performed according to the appropriate ethical and legal standards under the approval number: 2014_11_11_ULAE (University of Limerick, Ireland).

Semen from Irish Sport Horse stallions ($n=3$) of proven fertility (17 years old) were collected between February and March 2016 at a commercial stud in Ireland using an artificial vagina. Three ejaculates were collected from each stallion with a rest interval of at least 3 days between ejaculates and all ejaculates were processed individually. Following semen collection, the gel fraction was removed and the total motility (TM) assessed subjectively using a phase contrast microscope (minimum TM of 70% was used; results not presented). The ejaculate was diluted in a 1:1 ratio using INRA 96 extender (IMV Technologies, L'Aigle, France) and centrifuged at 1000 g for 10 min at 32°C following which the concentration of the spermatozoa in the pellet was assessed using a photometer (SDM6, Minitube, Tiefenbach, Germany). The pellet was diluted to 100×10^6 spermatozoa per mL in Gent freezing extender (Minitube). Semen was then cooled to 4°C over 2 h, packed into 0.5 mL straws (Minitube) and sealed using polyvinyl alcohol powder (Minitube). Straws were frozen to -110°C (13.9°C/min) in a programmable freezer (IceCube 14S, Minitube) following which they were plunged into liquid nitrogen at -196°C.

Straws were thawed as described previously and semen was diluted to a final concentration of 25×10^6 spermatozoa per mL in INRA 96 supplemented with vitamin E (α -Tocopherol, Arklow, Ireland, Sigma) at 0.02 mM to prevent posterior lipid peroxidation (NASIRI; TOWHIDI; ZEINOALDINI, 2012) of the DHA (cis-4,7,10,13,16,19-Docosahexaenoic acid, Sigma, Arklow, Ireland, 25 mg) added. The sample was then split in four treatments, namely: (i) DHA0 (0 ng of DHA per mL; control), (ii) DHA0 + IGF-I (control + 100 ng of IGF-I per mL), (iii) DHA1 (1 ng of DHA per mL) and (iv) DHA1 + IGF-I (1 ng of DHA per mL + 100 ng of IGF-I per mL). The concentration of DHA was adapted from previous experiments (SILVA et al., 2017) as the study demonstrated higher rapid progressive motility (PM) following the addition of 1 ng of DHA per mL to cooled stallion semen. The concentration of IGF-I (human recombinant IGF-I, Sigma, Arklow, Ireland, 100 μ g) was adapted from Champion et al. (2002), as this study demonstrated greater longevity of stallion spermatozoa after the addition of 100 ng of IGF-I per mL to room temperature stallion semen. In all treatments samples were maintained at 32°C in a heated-block until analysis were completed. Motility (TM and PM) and kinematic parameters were assessed at 30, 60 and 120 minutes following the addition of DHA and IGF-I using Computer Assisted Sperm Analysis Software (CASA; Sperm Class Analyser, SCA, Microptic, Barcelona, Spain). These time points were pooled for statistical analysis. Viability and acrosome integrity were assessed at 30 minutes using flow cytometry.

Assessment of total motility, rapid progressive motility and kinematic parameters

Motility and kinematic parameters were analysed using negative phase contrast ($\times 100$) brightfield microscopy on an Olympus BX60 fitted with a CASA system (Spermatozoa Class Analyser (SCA); Microptic). SCA Evolution software (Microptic) preset to record stallion parameters was used. A drop (5 μ L) of diluted semen was placed on a prewarmed chamber (37°C; Leja counting chambers; Microptic) and analysed for sperm motion and kinematic characteristics immediately after thawing. A minimum of five microscopic fields with at least 100 spermatozoa was analysed in each sample using a phase contrast microscope at $\times 100$ fitted with a prewarmed (37°C) stage. Objects incorrectly identified as spermatozoa were edited out using the playback function. The CASA-derived kinematic and motility characteristics assessed were average path velocity (VAP; $> 10 \mu\text{m s}^{-1}$), straight line velocity (VSL), curvilinear velocity (VCL), linearity (LIN), straightness (STR), amplitude of lateral head displacement (ALH), beat cross frequency (BCF), TM (VCL $> 10 \mu\text{m s}^{-1}$) and PM (VCL $> 90 \mu\text{m}$

s⁻¹ and STR >75%). None of the treatments in any of the three experiments significantly affected any of the kinematic parameters, therefore these results are not presented herein.

Flow cytometric analysis

Viability and acrosome integrity were assessed using a method adapted from Murphy et al. (2015) for bull semen. Preliminary tests were conducted using 3 different concentrations and 22 different incubation periods (0 to 42 min every 2 min) for each stain to optimize the flow cytometric protocols specifically for stallion semen.

Three ejaculates were collected from one stallion with a rest interval of at least 3 days between ejaculates. Following the collection, the gel fraction was removed. Semen evaluation, dilution, freezing and thawing were conducted as described previously.

Samples were diluted using phosphate buffered saline (PBS) medium to a concentration of 6×10^6 spermatozoa per mL and were analysed using a flow cytometer (Guava EasyCyte 6HT-2L, Merck Millipore, Billerica, MA, USA), equipped with both a krypton (640 nm) and an argon (488 nm) laser. Appropriate single colour controls were prepared to establish the respective fluorescent peaks of the individual stains. These were used in conjunction with the forward scatter and side scatter signals to discriminate spermatozoa from debris. Fluorescent events were recorded using GuavaSoft (Version 2.7, Merck Millipore) and all variables were assessed using logarithmic amplification. In each sample a minimum of 10,000 gated events were captured.

Viability was assessed using the fluorescent stains SYTO 16 (Ex/Em: 488/518 nm; Life Technologies, Carlsbad, USA) and propidium iodide (PI; Ex/Em: 535/617 nm; Life Technologies). Stain SYTO 16 was added at three different concentrations (20, 100 and 200 nM) and incubated at 32°C in the dark for 22 different incubation periods (0 to 42 min, each 2 min). Stain SYTO 16 works by binding to nucleic acids. Subsequently, PI was added at three different concentrations (3, 15 and 30 μ M) and incubated for the 22 incubation period. Since PI is not permeant to live cells, it is used to detect dead cells, PI binds to DNA by intercalating between the bases with little or no sequence preference. Post incubation, samples (200 μ L) were transferred to a 96-well microplate (Corning Inc., Midland, USA) and analysed. Stain SYTO 16 was read with the photodetector (525/30 nm band-pass filter) and PI was read with the photodetector (583/23 nm band-pass filter), no compensation was needed. The percentage of viable cells was expressed as the percentage of cells positive for SYTO 16, but negative for PI.

Acrosome integrity was assessed using the fluorescent stain Alexa Fluor 647 PNA (AF647; lectin peanut agglutinin from *Arachis hypogaea*; Ex/Em: 650/688; Life Technologies) which was added at three different concentrations (1.2, 6 and 12 μ g per mL) and was incubated at 32 °C in the dark for the 22 incubation periods. Stain AF647 fluoresces in the presence of the enzyme acrosin, which is exposed upon the loss of the acrosomal cap. Stain SYTO 16 was then added to the sample at a final concentration of 100 nM and incubated in the dark at 32 °C for 15 min. Following that, the fluorescent stain PI was added to the sample at a final concentration of 15 μ M and incubated for further 15 min. Post incubation, samples (200 μ L) were transferred to a 96-well microplate and analysed. Samples were analysed for AF647, SYTO 16 and PI via the photodetector 661/19, 525/30 and 583/23 nm band-pass filters, respectively, no compensation was needed. The percentage of viable spermatozoa with intact acrosomes was calculated as the percentage of AF647 negative cells of the PI negative population as initially gated based on controls, forward scatter and side scatter.

There was no effect of different concentrations of stains or incubation period in the capacity of reading intensity of stains in the post-thawed stallion semen, therefore based on these protocol

optimizations, the concentrations of 100 nM, 15 μ M and 6 μ g per mL of SYTO16, PI and AF647, respectively, and a 15 minutes incubation period for every stains were validated and posteriorly used to assess viability and acrosome integrity after addition of DHA and IGF-I to post-thawed stallion semen.

Statistical analysis

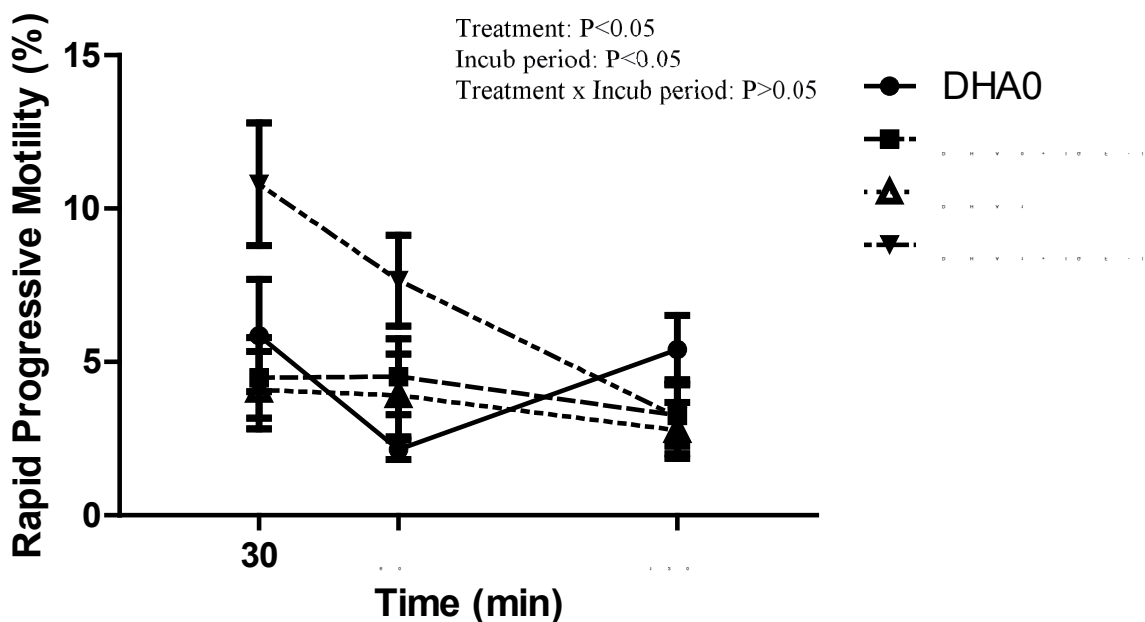
Data were examined for normality of distribution, tested for homogeneity of variance and analysed using an Analysis of Variance (ANOVA; flow cytometric analysis) or repeated measures ANOVA (CASA analysis) in the Statistical Package for the Social Sciences (SPSS; version 22.0, IBM, Armonk, USA). Post hoc tests were conducted using the Tukey test and $P < 0.05$ was deemed to be statistically significant. All results are reported as the mean \pm the standard error of the mean (s.e.m.).

Results and Discussion

Results

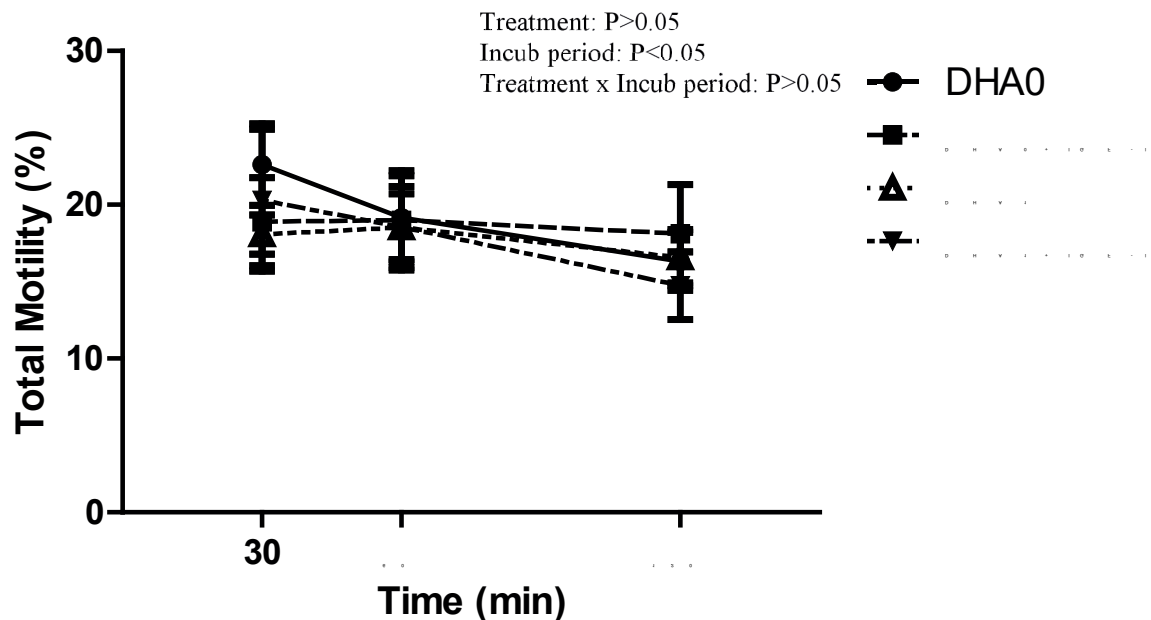
There was an effect of treatment on PM which was represented by the DHA1 + IGF-I treatment having higher PM than all the other treatments ($P < 0.05$; FIGURE 1), however there was no effect of treatment on TM ($P > 0.05$; FIGURE 2). There was an effect of incubation period on TM and PM ($P < 0.05$), as both decreased over time. There was no interaction between treatment and incubation period in either PM or TM ($P > 0.05$).

Figure 1. Effect of the *in vitro* addition of docosahexaenoic acid (DHA) and insulin-like growth factor-I (IGF-I) after thawing on rapid progressive motility of stallion spermatozoa (n=3). Vertical bars represent s.e.m.



Source: Elaborated by the authors (2018).

Figure 2. Effect of the *in vitro* addition of docosahexaenoic acid (DHA) and insulin-like growth factor-I (IGF-I) after thawing on total motility of stallion spermatozoa (n=3). Vertical bars represent s.e.m.



Source: Elaborated by the authors (2018).

There was no effect of treatment on viability and acrosome integrity with an overall post-thaw viability of $23.3 \pm 4.99\%$ and the percentage of spermatozoa with intact acrosomes in the live population of $98.3 \pm 0.16\%$.

Discussion

Higher PM after adding DHA1 + IGF-I was observed. It is likely that IGF-I acts better in combination with DHA than alone due to the necessity of the incorporation of DHA between the phospholipids in the spermatozoa membrane, keeping the resistance of the membrane under low temperature, then the IGF-I can connect to its receptor and consequently improve the uptake of energy sources and finally increase the PM. According to Morrell et al. (2014), PM is highly correlated with stallion fertility and pregnancy rates. Supplementation of DHA in the diet improved the TM and progressive linear motility (PLM) in cooled (after 48 h) and frozen-thawed stallion semen (BRINSKO et al. 2005). Several studies which have supplemented exogenous DHA before freezing to bull semen (TOWHIDI; PARKS, 2012; KAKA et al., 2015) also have reported improvements in TM. Progressive linear motility has been improved when DHA is added prior to freezing bull (TOWHIDI; PARKS, 2012) and boar (CHANAPIWAT et al., 2009; KAEOKET et al., 2010) semen and it has been hypothesised that this may be due to DHA aggregation in the flagellum of the spermatozoa (NASIRI et al., 2012). The *in vitro* addition of 100 ng per mL of IGF-I to stallion semen stored at room temperature has been shown to maintain the TM longer (CHAMPION et al., 2002). Selvaraju et al. (2009) demonstrated the *in vitro* addition of the same concentration of IGF-I to post-thawed buffalo semen increased both TM and PLM. Addition of IGF-I before freezing to ram semen also increased PLM (PADILHA et al., 2012) while the addition of IGF-I to cooled ram (0 to 5°C for 48 h; MAKAREVICH et al., 2014) and

boar (15°C for 72 h; MENDEZ et al., 2013) semen increased TM. IGF-I improves spermatozoa motility by reducing oxidative stress (SELVARAJU et al., 2016). Thus, the addition of IGF-I in combination with a PUFA is important to avoid increased lipid peroxidation, although Kiernan et al. (2013) found detrimental effects on PLM after the addition of 10 to 100 μ M of IGF-I to liquid stored bull semen.

Supplementing DHA in the extender before freezing has been shown to increase viability in bull (TOWHIDI; PARKS, 2012; KAKA et al., 2015) and boar (KAEOKET et al., 2010) semen which in turn may be related to increased membrane resistance to disintegration caused by ice crystal formation as a result of increased proportion of DHA in the plasma membrane (NASIRI et al., 2012). The addition of 50 to 150 ng of IGF-I per mL in cooled (15°C for 72 h) boar semen increased viability (SILVA et al., 2011), while, Kiernan et al. (2013) reported reduced viability after supplementing DHA to liquid stored bull semen. Although no improvement in the acrosome integrity was found in this study, the addition of IGF-I to post-thawed buffalo semen (SELVARAJU et al., 2010) increased acrosome integrity probably due to the antioxidant capacity of the IGF-I. The *in vitro* addition of DHA prior to freezing of bull (KAKA et al., 2015), buffalo (SELVARAJU et al., 2010), ram (PADILHA et al., 2012) and boar (CHANAPIWAT et al., 2009; KAEOKET et al., 2010) semen improved acrosome integrity. It should be noted that the percent of acrosome intact spermatozoa in the current study was high across all treatments and therefore there was limited scope for any further increases.

Conclusion

The present *in vitro* study demonstrated the simultaneous addition of DHA and IGF-I to stallion semen after thawing increased PM, but had no effect on TM, viability and acrosome integrity. More research should be conducted in order to test other concentrations of DHA and IGF-I to optimize stallion semen quality.

Acknowledgements

The authors gratefully acknowledge funding from the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Brazil, process number 99999.010773/2014-02, DMS), the support of IFSULDEMINAS (Brazil) and the assistance of Mr Philip McManus, Rockmount Veterinary Clinic, Claregalway, Co Galway, Ireland for the collection of stallion semen.

Adição *in vitro* de DHA e IGF-I aumenta a motilidade progressiva do sêmen criopreservado de garanhões

Resumo

Alta qualidade seminal é importante para alcançar taxa de gestação aceitável por meio da inseminação artificial na equinocultura. Ácido docosahexaenoico (DHA) é um ácido graxo poliinsaturado também conhecido como ômega-3, que melhora a integridade da membrana espermática durante as mudanças de temperatura. Hormônio do crescimento semelhante à insulina I (IGF-I) é um hormônio proteico que auxilia principalmente a glicose a entrar no espermatozoide, além de ser um antioxidante. O objetivo deste estudo foi analisar o efeito da adição *in vitro* de DHA combinado com IGF-I no sêmen

congelado-descongelado de garanhões. Três ejaculados de cada um de três garanhões da raça *Irish Sport Horse* foram coletados, a fração gel foi removida e o sêmen foi diluído na proporção 1:1 usando diluidor, em seguida, o sêmen foi centrifugado (1000 g) por 10 minutos a 32°C e ressuspenso a 100×10^6 espermatozoides/mL em diluidor de congelamento. O sêmen foi resfriado a 4°C, envasado em palhetas de 0,5 mL, congelado e estocado em nitrogênio líquido a -196°C. As palhetas foram descongeladas a 37°C por 30 segundos, o sêmen foi diluído a 25×10^6 espermatozoides/mL e foi dividido em quatro tratamentos, nos quais se adicionou 0 ou 1 ng de DHA/mL e 0 ou 100 ng de IGF-I /mL: DHA0, DHA0 + IGF-I, DHA1 e DHA1 + IGF-I. O sêmen foi incubado a 32°C e, depois de 30 minutos, a motilidade total (TM), motilidade progressiva rápida (PM), viabilidade e integridade acrossômica foram avaliadas. Depois de 60 e 120 minutos, TM e PM foram analisadas novamente. A PM após o descongelamento foi superior ($P < 0,05$) quando DHA1 + IGF-I foi adicionado, mas não houve efeito da adição de DHA e IGF-I na TM, viabilidade ou integridade acrossômica ($P > 0,05$).

Keywords: Equinos. Espermatozoides. Ômega-3. Antioxidante. Hormônios.

References

BARAKAT, I. A.; DANFOUR, M. A.; GALEWAN, F. A.; DKHIL, M. A. Effect of various concentrations of caffeine, pentoxifylline and kallikrein on hyperactivation of frozen bovine semen. **Biomed Research International**, 2015. DOI: 10.1155/2015/948575. Available in: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25950005>. Access in: 30 June 2019.

BLOMMAERT, D.; FRANCK, T.; DONNAY, I.; LEJEUNE, J. P.; DETILLEUX, J.; SERTEYN, D. Substitution of egg yolk by a cyclodextrin-cholesterol complex allows a reduction of the glycerol concentration into the freezing medium of equine sperm. **Cryobiology**, v. 72, p. 27-32, 2016. Available in: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26687387>. Access in: 30 June 2019.

BRINSKO, S. P.; VARNER, D. D.; LOVE, C. C.; BLANCHARD, T. L.; DAY, B. C.; WILSON, M. E. Effect of feeding a DHA-enriched nutraceutical on the quality of fresh, cooled and frozen stallion semen. **Theriogenology**, v. 63, p. 1519-1527, 2005. Available in: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0093691X0400247X?via%3Dihub>. Access in: 30 June 2019.

CHAMPION, Z. J.; VICKERS, M. H.; GRAVANCE, C. G.; BREIER, B. H.; CASEY, P. J. Growth hormone or insulin-like growth factor-I extends longevity of equine spermatozoa *in vitro*. **Theriogenology**, v. 57, p. 1793-1800, 2002. Available in: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12041683>. Access in: 30 June 2019.

CHANAPIWAT, P.; KAEOKET, K.; TUMMARUK, P. Effects of DHA-enriched hen egg yolk and L-cysteine supplementation on quality of cryopreserved boar semen. **Asian Journal of Andrology**, v. 11, p. 600-608, 2009. Available in: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3735010/>. Access in: 30 June 2019.

DE ITA, J. R.; CASTILLA-CORTÁZAR, I.; AGUIRRE, G. A.; SÁNCHEZ-YAGO, C.; SANTOS-RUIZ, M. O.; GUERRA-MENÉNDEZ, L.; MARTÍN-ESTAL, I.; GARCÍA-MAGARIÑO, M.; LARA-DÍAZ, V. J.;

PUCHE, J. E.; MUÑOZ, U. Altered liver expression of genes involved in lipid and glucose metabolism in mice with partial IGF-I deficiency: an experimental approach to metabolic syndrome. **Journal of Translational Medicine**, v. 13, p. 1-13, 2015. Available in: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4604722/>. Access in: 30 June 2019.

HENRICKS, D. M.; KOUBA, A. J.; LACKEY, B. R.; BOONE, W. R.; GRAY, S. L. Identification of insulin-like growth factor-I in bovine seminal plasma and its receptor on spermatozoa: influence on sperm motility. **Biology of Reproduction**, v. 59, p. 330-337, 1998. Available in: <https://academic.oup.com/biolreprod/article/59/2/330/2740852>. Access in: 30 June 2019.

HERNANDEZ-GARZÓN, E.; FERNANDEZ, A. M.; PEREZ-ALVAREZ, A.; GENIS, L.; BASCUÑANA, P.; FERNANDEZ DE LA ROSA, R.; DELGADO, M.; ANGEL POZO, M.; MORENO, E.; MCCORMICK, P. J.; SANTI, A.; TRUEBA-SAIZ, A.; GARCIA-CACERES, C.; TSCHÖP, M. H.; ARAQUE, A.; MARTIN, E. D.; TORRES ALEMAN I. The insulin-like growth factor-I receptor regulates glucose transport by astrocytes. **Glia**, DOI: 10.1002/glia.23035. Available in: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/glia.23035>. Access in: 30 June 2019.

KAEOKET, K.; SANG-URAI, P.; THAMNIYOM, A.; CHANAPIWAT, P.; TECHAKUMPHU, M. Effect of docosahexaenoic acid on quality of cryopreserved boar semen in different breeds. **Reproduction in Domestic Animals**, v. 45, p. 458-463, 2010. Available in: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1439-0531.2008.01239.x>. Access in: 30 June 2019.

KAKA, A.; HARON, W.; YUSOFF, N.; KHUMRAN, A. M.; SARSAIFI, K.; BEHAN, A. A.; KAKA, U.; MEMON, A. A.; EBRAHIMI, M. Effect of docosahexanoic acid on quality of frozen-thawed bull semen in BioXcell extender. **Reproduction, Fertility and Development**, 2015. DOI: 10.1071/RD15089. Available in: <https://www.publish.csiro.au/RD/RD15089>. Access in: 30 June 2019.

KIERNAN, M.; FAHEY, A. G.; FAIR, S. The effect of the *in vitro* supplementation of exogenous long-chain fatty acids on bovine sperm cell function. **Reproduction, Fertility and Development**, v. 25, n. 6, p. 947-954, 2013. Available in: <http://www.publish.csiro.au/RD/RD12204>. Access in: 30 June 2019.

LACKEY, B. R.; GRAY, S. L.; HENRICKS, D. M. Measurement of leptin and insulin-like growth factor-I in seminal plasma from different species. **Physiological Research**, v. 51, p. 309-311, 2002. Available in: http://www.biomed.cas.cz/physiolres/pdf/51/51_309.pdf. Access in: 30 June 2019.

LOOMIS, P. R.; GRAHAM, J. K. Commercial semen freezing: individual male variation in cryosurvival and the response of stallion sperm to customized freezing protocols. **Animal Reproduction Science**, v. 105, p. 119-28, 2007. Available in: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378432007003806?via%3Dihub>. Access in: 30 June 2019.

MACPHERSON, M. L.; SIMMEN, R. C.; SIMMEN, F. A.; HERNANDEZ, J.; SHEERIN, B. R.; VARNER, D. D.; LOOMIS, P.; CADARIO, M. E.; MILLER, C. D.; BRINSKO, S. P.; RIGBY, S.; BLANCHARD, T. L. Insulin-like growth factor-I and insulin-like growth factor-2 binding protein-2 and -5 in equine seminal plasma: association with sperm characteristics and fertility. **Biology of Reproduction**, v. 67, p. 648-654, 2002. Available in: <https://academic.oup.com/biolreprod/article/67/2/648/2683746>. Access in: 30 June 2019.

MAKAREVICH, A. V.; SPALEKOVA, E.; OLEXIKOVA, L.; KUBOVICOVA, E.; HEGEDUSOVA, Z. Effect of insulin-like growth factor-I on functional parameters of ram cooled-stored spermatozoa. **Zygote**, v. 22, p. 305-313, 2014. Available in: <https://www.cambridge.org/core/journals/zygote/article/effect-of-insulinlike-growth-factor-i-on-functional-parameters-of-ram-cooledstored-spermatozoa/6B56AF635F7C944B2C7FB5EB69AED4DD>. Access in: 30 June 2019.

MARTÍNEZ-SOTO, J. C.; LANDERAS, J.; GADEA, J. Spermatozoa and seminal plasma fatty acids as predictors of cryopreservation success. **Andrology**, v. 1, p. 365-375, 2013. Available in: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.2047-2927.2012.00040.x>. Access in: 30 June 2019.

MENDEZ, M. F.; ZANGERONIMO, M. G.; ROCHA, L. G.; FARIA, B. G.; PEREIRA, B. A.; FERNANDES, C. D.; CHAVES, B. R.; MURGAS, L. D. S.; SOUSA, R. V. Effect of the addition of IGF-I and vitamin E to stored boar semen. **Animal**, v. 7, p. 793-798, 2013. Available in: <https://www.cambridge.org/core/journals/animal/article/effect-of-the-addition-of-igfi-and-vitamin-e-to-stored-boar-semen/83A3D4711EA41A4F0CAA6002BBA31D49>. Access in: 30 June 2019.

MILANI, C.; FONTBONNE, A.; SELLEM, E.; STELLETTA, C.; GÉRARD, O.; ROMAGNOLI, S. Effect of post-thaw dilution with caffeine, pentoxifylline, 2'-deoxyadenosine and prostatic fluid on motility of frozen-thawed dog semen. **Theriogenology**, v. 74, p. 153-64, 2010. Available in: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0093691X10000798?via%3Dihub>. Access in: 30 June 2019.

MORAES, E. A.; MATOS, W. C.; GRAHAM, J. K.; FERRARI, W. D. Jr. Cholesterol-loaded-cyclodextrin improves the quality of stallion spermatozoa after cryopreservation. **Animal Reproduction Science**, v. 158, p. 19-24, 2015. Available in: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378432015000925?via%3Dihub>. Access in: 30 June 2019.

MORREL, J. M.; STUHTMANN, G.; MEURLING, S.; LUNDGREN, A.; WINBLAD, C.; MACIAS GARCIA, B.; JOHANNISSON, A. Sperm yield after single layer centrifugation with Androcoll-E is related to the potential fertility of the original ejaculate. **Theriogenology**, v. 81, p. 1005-1011, 2014. Available in: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0093691X14000466?via%3Dihub>. Access in: 30 June 2019.

MURPHY, C.; HOLDEN, S. A.; MURPHY, E. M.; CROMIE, A. R.; LONERGAN, P.; FAIR, S. The impact of storage temperature on the sperm number on the fertility of liquid-stored bull semen. **Reproduction, Fertility and Development**, 2015. DOI: 10.1071/RD14369. Available in: <http://www.publish.csiro.au/RD/RD14369>. Access in: 30 June 2019.

NASIRI, A. H.; TOWHIDI, A.; ZEINOALDINI, S. Combined effect of DHA and α -tocopherol supplementation during bull semen cryopreservation on sperm characteristics and fatty acid composition. **Andrologia**, v. 44, p. 550-555, 2012. Available in: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1439-0272.2011.01225.x>. Access in: 30 June 2019.

PADILHA, R. T.; MAGALHÃES-PADILHA, D. M.; CAVALCANTE, M. M.; ALMEIDA, A. P.; HAAG, K. T.; GASTAL, M. O.; NUNES, J. F.; RODRIGUES, A. P.; FIGUEIREDO, J. R.; OLIVEIRA, M. A. Effect of insulin-like growth factor-I on some quality traits and fertility of cryopreserved ovine semen.

Theriogenology, v. 78, p. 907-913, 2012. Available in: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0093691X12002385?via%3Dihub>. Access in: 30 June 2019.

PARKS, J. E.; LYNCH, D. V. Lipid composition and thermotropic phase behavior of boar, bull, stallion and rooster sperm membranes. **Cryobiology**, v. 29, p. 255-266, 1992. Available in: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/001122409290024V?via%3Dihub>. Access in: 30 June 2019.

PEÑA, F. J.; GARCÍA, B. M.; SAMPER, J. C.; APARICIO, I. M.; TAPIA, J. A.; FERRUSOLA, C. O. Dissecting the molecular damage to stallion spermatozoa: the way to improve current cryopreservation protocols. **Theriogenology**, v. 76, p. 1177-1186, 2011. Available in: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0093691X11003086?via%3Dihub>. Access in: 30 June 2019.

SCHMID-LAUSIGK, Y.; AURICH, C. Influences of a diet supplemented with linseed oil and antioxidants on quality of equine semen after cooling and cryopreservation during winter. **Theriogenology**, v. 81; p. 966-973; 2014. Available in: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0093691X14000545?via%3Dihub>. Access in: 30 June 2019.

SELVARAJU, S.; KRISHNAN, B. B.; ARCHANA, S. S.; RAVINDRA, J. P. IGF-I stabilizes sperm membrane proteins to reduce cryoinjury and maintain post-thaw sperm motility in buffalo (*Bubalus bubalis*) spermatozoa. **Cryobiology**, v. 73, p. 55-62, 2016. Available in: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0011224016300724?via%3Dihub>. Access in: 30 June 2019.

SELVARAJU, S.; NANDI, S.; SUBRAMANI, T. S.; RAGHAVENDRA, B. S.; RAO, S. B.; RAVINDRA, J. P. Improvement in buffalo (*Bubalus bubalis*) spermatozoa functional parameters and fertility *in vitro*: effect of insulin-like growth factor-I. **Theriogenology**, v. 73, p. 1-10, 2010. Available in: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0093691X09003392?via%3Dihub>. Access in: 30 June 2019.

SELVARAJU, S.; REDDY, I. J.; NANDI, S.; RAO, S. B.; RAVINDRA, J. P. Influence of IGF-I on buffalo (*Bubalus bubalis*) spermatozoa motility, membrane integrity, lipid peroxidation and fructose uptake *in vitro*. **Animal Reproduction Science**, v. 113, p. 60-70, 2009. Available in: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378432008003394?via%3Dihub>. Access in: 30 June 2019.

SHIN, S. M.; KIM, S.; HONG, J. G.; KIM, Y. J. IGF-I improves mitochondrial membrane potential during hypothermic storage of canine spermatozoa. **The Journal of Veterinary Medical Science**, v. 76, p. 1065-1067, 2014. Available in: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4143651/>. Access in: 30 June 2019.

SILVA, D. M.; HOLDEN, S. A.; DE SOUZA, J. C.; FAIR, S. *In vitro* addition of docosahexaenoic acid improves the quality of cooled but not frozen-thawed stallion semen. **Reproduction, Fertility and Development**, 2017. DOI: 10.1071/RD16473. Available in: <https://www.publish.csiro.au/RD/RD16473>. Access in: 30 June 2019.

SILVA, D. M.; ZANGERONIMO, M. G.; MURGAS, L. D. S.; ROCHA, L. G.; CHAVES, B. R.; PEREIRA, B. A.; CUNHA, E. C. Addition of IGF-I to storage-cooled boar semen and its effect on sperm quality. **Growth Hormone and IGF Research**, v. 21, p. 325-330, 2011. Available in: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1096637411000980?via%3Dihub>. Access in: 30 June 2019.

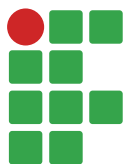
TOWHIDI, A.; PARKS, J. E. Effect of n-3 fatty acids and α -tocopherol on post-thaw parameters and fatty acid composition of bovine sperm. **Journal of Assisted Reproduction and Genetics**, v. 29, p. 1051-1056, 2012. Available in: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3492589/>. Access in: 30 June 2019.

TRAVASCIO, F.; ELMASRY, S.; ASFOUR, S. Modeling the role of IGF-I on extracellular matrix biosynthesis and cellularity in intervertebral disc. **Journal of Biomechanics**, v. 47, p. 2269-2276, 2014. Available in: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0021929014002735?via%3Dihub>. Access in: 30 June 2019.

WU, Z.; ZHENG, X.; LUO, Y.; HUO, F.; DONG, H.; ZHANG, G.; YU, W.; TIAN, F.; HE, L.; CHEN, J. Cryopreservation of stallion spermatozoa using different cryoprotectants and combinations of cryoprotectants. **Animal Reproduction Science**, v. 163, p. 75-81, 2015. Available in: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378432015300312?via%3Dihub>. Access in: 30 June 2019.

Received: August 25, 2017

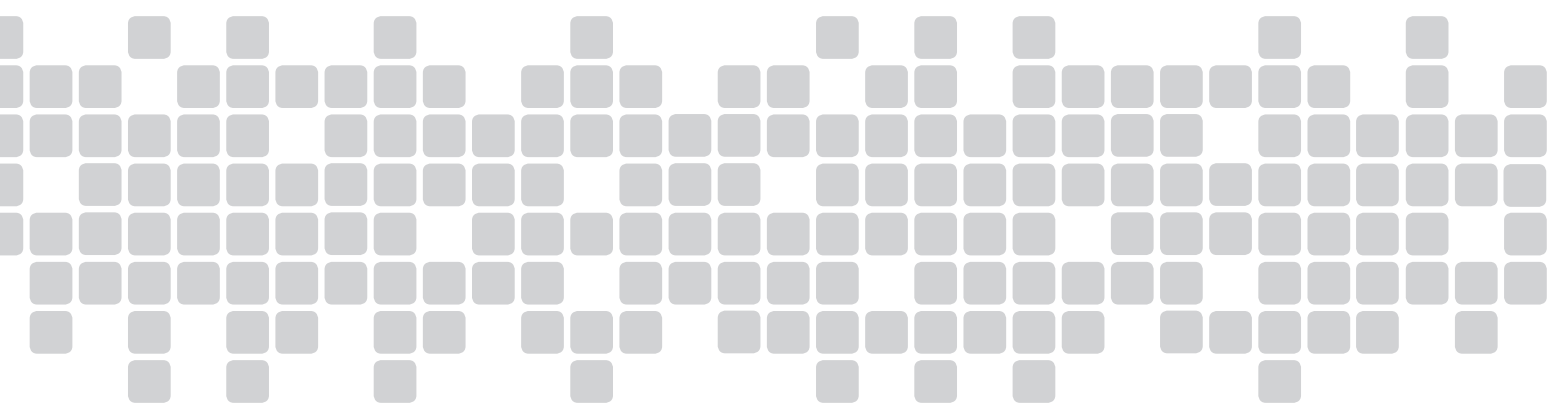
Accepted: May 11, 2018

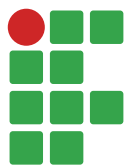


Sumário

Artigos científicos

Aspectos produtivos de cultivares de soja para região de Machado (MG), Brasil	141
Pedro Antonio Pires Lins da Silva, Roberto de Farias Filho	
Ajuste da decomposição do lodo de esgoto e palha de aveia por modelos não lineares ..	153
Edilson Marcelino Silva, Sílvio de Castro Silveira, Thais Destefani Ribeiro Furtado, Joel Augusto Muniz	
Gestão de resíduos sólidos urbanos nos municípios componentes da 17ª Cia PM Ind MAT	165
Maximiliano Silva Soares, Luiz Flávio Reis Fernandes	
Adução de plantio com NPK para a cultura do <i>Physalis</i> (<i>Physalis peruviana</i> L.)	179
César Ferreira Santos, Geann Costa Dias, Sheila Isabel do Carmo Pinto, Paulino da Cunha Leite, Konrad Passos e Silva	
Períodos de atividades de mamíferos no Parque Ecológico Quedas do Rio Bonito, Lavras, Minas Gerais, Brasil	193
Ellen Cristina Mões Oliveira, Felipe Santana Machado, Antônio Carlos da Silva Zanzini	
Descrição da mineralização do carbono de dejetos de suíno e palha de aveia no solo por modelos não lineares	210
Edilson Marcelino Silva, Thais Destefani Ribeiro Furtado, Jaqueline Gonçalves Fernandes, Joel Augusto Muniz	
Teor de proteína bruta em cultivares de <i>Urochloa</i> em sistema de pastagem exclusiva ou consorciadas com <i>Macrotyloma axillare</i> cv. Guatá	226
Thiago Rossi Simões, Käthery Brennecke, Liandra Maria Abaker Bertipaglia, Luciana Gerdes	
Composto orgânico e irrigação influenciando a massa e o teor proteico em folhas de Ora-pro-nóbis	233
Reginaldo Rodrigues de Andrade, João Antônio Galbiatti, Carla Regina Amorim dos Anjos Queiroz, Luiz Carlos Pavani	





Aspectos produtivos de cultivares de soja para região de Machado (MG), Brasil

Pedro Antonio Pires Lins da Silva¹

Roberto de Farias Filho²

Resumo

Em virtude do potencial produtivo e da grande importância na alimentação humana e animal, a soja ocupa uma posição de destaque na economia brasileira. O seu cultivo no sul de Minas Gerais vem ganhando espaço, porém sofre com pouca disponibilidade de cultivares adaptadas. Assim, o presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar os aspectos produtivos de diferentes cultivares de soja para região de Machado, Minas Gerais, a fim de identificar cultivares que possam ser recomendadas para o cultivo na região. Utilizou-se do delineamento experimental de blocos ao acaso com quatro repetições, cujos tratamentos foram seis cultivares de soja (5D6215 IPRO, 5D634 RR, NS 7709 IPRO, NS 7300 IPRO, NS 7667 IPRO e NS 7200 RR). A semeadura foi realizada na segunda semana de novembro de 2015. Verificou-se que a região de Machado se mostrou apta para o cultivo da soja, pois todos os cultivares apresentaram altura de planta e altura de inserção de primeiro legume favoráveis à colheita mecanizada. Destacam-se os cultivares 5D634 RR, NS 7200 RR e NS 7709 IPRO que obtiveram os melhores resultados de rendimento de grãos com 3.676,62, 3.612,45 e 3.377,90 kg ha⁻¹, respectivamente. Os cultivares 5D6215 IPRO, 5D634 RR, NS 7709 IPRO e NS 7200 RR encontram-se dentro dos níveis aceitáveis de acamamento para colheita mecanizada. Os cultivares 5D6215 IPRO e NS 7200 RR demonstram um maior índice velocidade de emergência em relação aos outros cultivares estudados.

Palavras-chave: *Glycine max* (L.) Merrill. Rendimento de grãos. Adaptabilidade

Introdução

O Brasil é o segundo maior produtor de soja do mundo. A cultura detém mais de 50% da área cultivada do país, seu cultivo iniciou-se na Região Sul do Brasil, mais precisamente no Rio Grande do Sul. Desde então, a demanda do mercado nacional e principalmente internacional por essa planta oleaginosa vem aumentando. Dados oficiais revelam que a produção da safra 2013/2014 foi avaliada em 86,8 milhões de toneladas de grãos de soja (Food and Agriculture Organization of The United Nations Statistics Division- FAOSAT, 2014), enquanto a estimativa para a safra 2016/2017 indica uma produção de 103 milhões de toneladas do grão (United States Department of Agriculture-USDA, 2016).

O aumento de áreas para produção e os elevados índices de produtividade se devem à procura cada vez maior pelo grão, uma vez que ele atende a várias necessidades econômicas, como a

1 Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais, *Campus* Machado, graduando em Agronomia. ppireslins@gmail.com. Rua Alemanha nº 400, Bairro Jardim Bizarro, Jundiá, São Paulo, CEP 13207-500.

2 Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais - *Campus* Machado, graduando em Agronomia. robertofarias.agro@hotmail.com.

produção de óleo vegetal, a de ração com base proteica, para produção animal e como fonte para biocombustíveis. A sojicultura possui perspectivas de que será uma atividade bastante lucrativa nos próximos anos, visto sua importância e alta demanda futura, que poucos países estão aptos a atendê-la; entre os principais produtores do grão, Estados Unidos e Argentina não terão a capacidade de aumentar sua área plantada, assim como o Brasil, pois possuem a necessidade de produzir outras culturas e atividade pecuária que os impedem de expandir a área de soja (SEDIYAMA et al., 2015). Entre as áreas em expansão, na Região Sudeste, destaca-se o estado de Minas Gerais.

De acordo com as séries históricas da Companhia Nacional de Abastecimento-CONAB (2016), nos últimos 20 anos, no estado de Minas Gerais, principal produtor da Região Sudeste, verificou-se o aumento da área e da produção de soja em aproximadamente 64,0 e 47,0 %, respectivamente. A área de soja vem ganhando espaço em áreas antes cultivadas com milho, isso se deve à utilização de cultivares cada vez mais precoces e ao plantio da soja na primeira safra e o milho na segunda, no mesmo ano agrícola.

Um dos motivos do aumento na produção de soja no estado de Minas Gerais é o avanço do melhoramento genético de plantas. No Brasil, podem ser encontradas mais de 1.000 cultivares de soja registrados entre convencionais e transgênicas, adaptados às tradicionais e novas fronteiras agrícolas (SEDIYAMA, 2015). Diversos fatores podem diferenciar um cultivar de outro, entre eles ciclo, altura de planta, forma da folha, hábito de crescimento e teor de óleo.

Em relação ao ciclo, cultivares de ciclo muito precoce geralmente são menos produtivos, devido ao menor período de desenvolvimento vegetativo e reprodutivo no campo. Porém, precocidade tem a vantagem de possibilitar uma segunda safra na mesma área. Os cultivares de ciclo tardio, quando semeados na época adequada, podem formar mais folhas e desenvolver lentamente, resultando em maior produtividade (SEDIYAMA, 2015).

Segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária- EMBRAPA (2010), em um grupo de cultivares com a mesma duração de ciclo, os que apresentam período juvenil mais longo florescem mais tarde; portanto, mostram maior período de crescimento antes de florescer e, por isso, exibem plantas mais altas. Por outro lado, nos cultivares de tipo de crescimento indeterminado, o que determina o porte alto das plantas é que elas continuam crescendo em altura por algumas semanas após o florescimento, podendo até dobrar sua altura nesse período.

Os programas de melhoramento genético sempre procuram selecionar plantas com resistência ao acamamento, porém o ambiente de cultivo tem grande influência nessa característica. Assim, deve-se trabalhar com população adequada para cada cultivar, bem como local e época indicada de semeadura para a obtenção de produtividade elevada com baixa intensidade de acamamento (SEDIYAMA, 2015).

Na região do Sul de Minas, Rezende e Carvalho (2007), estudando o comportamento de 45 cultivares, constataram que esses apresentaram produtividades satisfatórias, com destaque para Vencedora, Paiaguás, Aventis 2056-7, Monarca e FT 2000 com produção acima de 3.400 kg ha⁻¹.

Novamente, Carvalho et al. (2010), estudando o comportamento de 24 cultivares em dois locais, Lavras-MG e Itutinga-MG, durante dois anos consecutivos, constataram que cultivares como Monsoy 8001, Conquista, Vencedora, DM Nobre, Emgopa 315, DM Vitória, M-soy 6101, Preta, UFV 16, Emgopa 316, Santa Rosa, Aventis 7002 e CAC 1 tiveram rendimentos variando de 2.958 a 3.575 kg ha⁻¹ para a cidade de Itutinga (MG), enquanto que para a cidade de Lavras, os autores destacaram as cultivares UFV 16 e M-soy 6101, com rendimentos de 3.553 e 3.543 kg ha⁻¹, respectivamente.

Batista et al. (2015), observaram o comportamento de 22 cultivares na região de Inconfidentes, no sul de Minas Gerais, onde os cultivares CD 2737 e TMG 1179 RR mostraram-se superiores e com médias de produtividade de 2.400 kg ha⁻¹ e 2.830 kg ha⁻¹, respectivamente.

Para a adaptação de um cultivar a uma determinada região são necessárias pesquisas voltadas à interação do genótipo com o ambiente, resultando em materiais que apresentem características satisfatórias de produção e colheita. Com isso, este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar os aspectos produtivos de diferentes cultivares de soja para região de Machado (MG), a fim de se identificarem cultivares que possam ser recomendadas para o cultivo na região.

Material e métodos

O presente trabalho foi realizado em área experimental no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais, *Campus Machado*, coordenadas 21°69'21" S, 45°89'94" O, a 862 m de altitude, durante os meses de novembro de 2015 a março de 2016. De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é caracterizado como Cwa, evidenciando temperaturas amenas, com verão quente e úmido. O solo foi classificado como Latossolo Vermelho (EMBRAPA, 2006).

Na safra anterior, a área experimental foi cultivada com milho para produção de grãos, sendo preparada com uma aração e duas gradagens antes da semeadura do experimento.

A semeadura foi realizada de maneira convencional no dia 13 de novembro de forma manual com base em uma população de 340.000 plantas por hectare para todos os tratamentos. No momento da semeadura foi feita a inoculação com produto comercial ATMO® composto por bactérias da estirpe *Bradyrhizobium japonicum* em dosagem de 100 ml de produto comercial para cada 50 kg de semente, com o intuito de favorecer a fixação biológica de nitrogênio. Após 10 dias de emergência, foram realizados desbastes respeitando o estande de plantas esperado.

De acordo com a análise de solo, a adubação de base foi 200 kg ha⁻¹ de mono amônio fosfato (MAP) que possui a fórmula 10-50-00 aplicado no sulco de plantio, e a adubação de cobertura foi realizada logo após a semeadura com Cloreto de Potássio na dosagem de 150 kg ha⁻¹, seguindo as recomendações de Ribeiro et al. (1999).

O controle de plantas daninhas foi realizado de maneira química com o uso dos seguintes princípios ativos Fluazifop-p-butil (187 g ha⁻¹) e Fomesafen (250 g ha⁻¹), aplicado com cerca de quinze dias após a emergência e Glyphosate (1.440 g ha⁻¹) no momento de dessecação antes da colheita, as duas aplicações foram realizadas com a mistura de óleo vegetal a 0,5 %, sendo o volume de calda de 240 L ha⁻¹.

Para o controle de pragas e doenças foram utilizados inseticidas e fungicidas aplicados de forma preventiva a partir do estágio fenológico de V5, totalizando quatro aplicações até a colheita do grão de Tiametoxam (250 mL ha⁻¹) e Azoxistrobina + Ciproconazol (300 mL ha⁻¹) juntamente com óleo vegetal a 0,5 % de concentração do volume de calda de 200 L ha⁻¹ aplicado.

Delineamento experimental

O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, com quatro repetições, tendo sido utilizados seis cultivares de soja recém lançadas e com potencial aproveitamento para a região de Machado, sendo elas: 5D6215 IPRO, 5D634 RR, NS 7709 IPRO, NS 7300 IPRO, NS 7667 IPRO, NS 7200 RR. Cada parcela foi constituída de cinco linhas com cinco metros cada, com espaçamento

de 0,5 m entre elas, totalizando 12,5 m² de área por parcela e, com isso, uma área experimental de 300,0 m².

Variáveis analisadas

Para avaliar a qualidade e a adaptabilidade dos diferentes cultivares plantados foram realizadas as seguintes avaliações:

Emergência em canteiro

Foram semeadas quatro repetições de 50 sementes por tratamento em canteiro em condição ambiente, sendo irrigadas quando necessário. A avaliação foi realizada a partir da emergência das primeiras plântulas até sua estabilização, e o índice de velocidade de emergência foi determinado segundo fórmula proposta por Maguire (1962).

Altura de planta

Com o auxílio de uma régua graduada, a altura de planta foi medida no momento em que as plantas estavam em estágio fenológico R8, foram escolhidas dez plantas ao acaso em cada parcela dentro da área útil, considerando a distância entre o colo da planta e o ponto de inserção da folha mais alta da planta amostrada. As medidas foram tomadas em centímetros.

Altura de inserção do primeiro legume

Foi medida quando as plantas estavam em estágio fenológico R8 com o auxílio de uma régua graduada, foram selecionadas dez plantas ao acaso em cada parcela dentro da área útil, considerando a distância entre o colo da planta e o ponto de inserção do primeiro legume da planta amostrada, as medidas também foram registradas em centímetros.

Produtividade de grãos

Foi realizada colheita manual da área útil de cada parcela, seguida da pesagem dos grãos e da leitura da umidade pelo método de secagem em estufa (BRASIL, 2009). Em seguida, foi realizada a correção da umidade para 13 % calculando-se a quebra de umidade de acordo com a equação a seguir, a fim de se estimar a produtividade em quilograma por hectare.

$$QU = \frac{(U_i - U_f) \times 100}{100 - U_f}$$

Em que

QU(%) = Quebra de umidade;

U_i (%) = Umidade inicial;

U_f (%) = Umidade final.

Número de vagens por planta e número de grãos por vagem

Foram coletadas aleatoriamente dez plantas por parcela da área experimental, quando elas foram identificadas em estágio fenológico de R8. Após a amostragem, foram feitas as contagens em cada planta do número de vagens por planta e do número de grãos por vagem.

Índice de acamamento

Levando em consideração o aspecto geral de cada parcela, foi avaliado, segundo Bernard et al. (1965), no momento anterior à colheita, quando as plantas se encontravam no estágio fenológico de R8. Todas as plantas eretas foram nota 1, algumas plantas inclinadas ou ligeiramente acamadas nota 2, todas as plantas moderadamente inclinadas ou 25-50% acamadas nota 3, todas as plantas severamente inclinadas ou 50-80% acamadas nota 4 e plantas mais de 80% acamadas nota 5.

Análises estatísticas

As análises estatísticas foram realizadas com auxílio do software Sisvar (FERREIRA, 2007), sendo aplicado o teste de Scott-Knott, com nível de 5% de probabilidade para comparação de médias.

Resultados e discussão

Observou-se que a maioria das características avaliadas obtiveram resultados significativos para as variáveis: produtividade, altura de planta, altura de inserção do primeiro legume, índice de velocidade de emergência e acamamento, enquanto o número de vagens por planta e número de grãos por vagem não obtiveram significância (TABELA 1).

Tabela 1. Resumo da análise de variância para produtividade (P), altura de planta (AP), altura de inserção do primeiro legume (IL), nota de acamamento (Ac), número de grãos por vagem (NG), número de vagens por planta (NV) e índice de velocidade de emergência (IVE) de seis genótipos de soja cultivados em Machado (MG).

Fonte de Variação	Quadrados Médios						
	P	AP	IL	Ac	NG	NV	IVE
Cultivares	1143745,45*	260,93*	20,98*	3,76*	ns	ns	0,19*
CV (%)	7,33	8,43	8,9	21,37	6,84	21,15	5,40

*Significativo, com o nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborada pelos autores (2016).

Houve diferença de produtividade entre os cultivares observados, destacando: 5D634 RR, NS 7200 RR e NS 7709 IPRO, com médias de rendimento de grãos de 3.676,62 kg ha⁻¹, 3.612,45 kg ha⁻¹ e 3.377,90 kg ha⁻¹, respectivamente (TABELA 2).

Segundo o último levantamento da safra 2015/2016 pela CONAB (2016), as médias de produtividade nacional e do estado de Minas Gerais foram de 2.870 e 3.220 kg ha⁻¹, respectivamente, assim, pode se afirmar que as médias alcançadas pelos cultivares na região de Machado são superiores às médias nacional e do estado de Minas Gerais.

Tabela 2. Resultados médios de produtividade (P) de seis genótipos de soja cultivados em Machado (MG).

Cultivares	Médias
	P (kg ha ⁻¹)
5D634 RR	3.676,62 a
NS 7200 RR	3.612,45 a
NS 7709 IPRO	3.377,90 a
NS 7300 IPRO	3.008,12 b
NS 7667 IPRO	2.730,82 b
5D6215 IPRO	2.315,72 c

As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, com nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborada pelos autores (2016).

O rendimento de grãos é muito influenciado por vários fatores ambientais, como umidade, temperatura e fotoperíodo, que variam com as diferentes épocas do ano. Altos rendimentos podem ser obtidos quando as condições ambientais são favoráveis em todos os estádios de desenvolvimento (GUIMARÃES, 2006). A safra de Verão 2015/2016 na região de Machado (MG) foi marcada pela grande precipitação nos meses de janeiro e fevereiro, o que ocasionou perda de plantas de soja por tombamento e desfolha em algumas plantações, influenciando a produtividade final.

Souza et al. (2015) avaliaram o desempenho de 13 cultivares na região de Machado (MG) e obtiveram resultados satisfatórios com os materiais 97R73 RR, BMX DESAFIO RR e LG 60177 IPRO, alcançando médias de produtividades de 4.692 a 5.376 kg ha⁻¹. No município de Lavras (MG), Batista et al. (2015), no ano agrícola 2014/2015, conseguiram boas médias de produtividade com os cultivares 7338 IPRO (4.420 kg ha⁻¹), LG 60177 IPRO (4.383 kg ha⁻¹) e 7209 IPRO (4.346 kg.ha).

Todos os cultivares estudados obtiveram altura de planta adequada à colheita mecanizada. Verificou-se ainda que as alturas das plantas variaram entre 81 e 103 cm, sendo que os cultivares 5D634 RR e NS 7200 RR, que apresentaram melhores produtividades, obtiveram também maior altura de planta. No município de Inconfidentes, região do Sul de Minas, Batista et al. (2015) avaliaram 22 materiais de soja e obtiveram plantas com altura variando de 79 a 113 cm, todas com altura compatível à colheita mecanizada.

De acordo com Sediyaama et al. (2015), a altura de planta depende do tipo e hábito de crescimento e da época de semeadura. A altura adequada de uma planta resulta em uma colheita de forma mais eficiente e, também, pode influenciar os componentes de produção com efeito direto na produtividade. Considera-se, portanto, alturas de planta compreendidas entre 60 e 120 cm como adequadas à mecanização da colheita (REZENDE; CARVALHO, 2007).

Observando as médias de altura de inserção do primeiro legume para os cultivares avaliados (TABELA 3), elas apresentaram-se como satisfatória para a colheita mecanizada. Segundo Marcos Filho (1986), o cultivar escolhido para o cultivo em uma determinada localidade deve apresentar uma altura de inserção do primeiro legume de pelo menos 10 a 12 cm; entretanto, para a maioria das condições das lavouras de soja, a altura mais satisfatória está em torno de 15 cm, embora colhedoras mais modernas possam efetuar boa colheita com plantas apresentando inserção de legume a 10 cm.

Os cultivares avaliados obtiveram entre 13,96 e 20,18 cm de altura de inserção do primeiro legume, destacando-se os cultivares 5D634 RR, NS 7709 IPRO, NS 7300 IPRO e NS 7667 IPRO com os maiores resultados de altura, todos acima de 18 cm. Os resultados encontrados no presente

experimento foram superiores aos encontrados por Verneti Junior et al. (2010), que avaliaram durante o ano agrícola 2011/2012 vinte e seis cultivares do grupo de maturação seis, com médias de inserção de vagens de 9,3 cm, não sendo adequadas para a colheita mecânica. Em outra situação, Cordeiro Junior et al. (2016), em Pindorama (SP), avaliaram o cultivar NS 7667 IPRO, também utilizado no estudo atual; sob o sistema de plantio direto, os autores encontraram médias de altura de inserção do primeiro legume próximas de 14 cm. De acordo com Sedyama (1972), fatores ambientais como umidade, luz e fotoperíodo podem afetar a altura de inserção do primeiro legume.

Tabela 3. Resultados médios de altura de planta (AP) e altura de inserção do primeiro legume (IL) de seis genótipos de soja cultivados em Machado (MG).

Cultivares	Médias	
	AP (cm)	IL (cm)
NS 7200 RR	103,17 a	17,63 b
5D634 RR	95,22 a	20,18 a
NS 7709 IPRO	89,1 b	19,72 a
NS 7667 IPRO	86,95 b	19,3 a
NS 7300 IPRO	83,16 b	18,9 a
5D6215 IPRO	81,72 b	13,96 b

As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si na coluna pelo teste de Scott-Knott, com nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborada pelos autores (2016).

As sementes de uma cultivar devem apresentar boa pureza genética e física, alto vigor e sanidade. A utilização de sementes de qualidade é fundamental para alcançar elevadas produtividades (SEDIYAMA et al., 2015).

No presente experimento, priorizou-se identificar a qualidade das sementes obtidas e seu comportamento ao longo da emergência dos diferentes cultivares. Vanzolini e Carvalho (2002) afirmaram que em lotes de menor vigor de sementes observa-se uma menor emergência e, conseqüentemente, menor velocidade de emergência, evidenciando a melhor qualidade de sementes com alto índice de velocidade de emergência.

Houve diferença significativa entre os cultivares testados para o índice de velocidade de emergência. Na Tabela 4, é possível observar que os cultivares 5D6215 IPRO e NS 7200 RR ficaram caracterizados pela maior velocidade de emergência. Apesar de ser caracterizado por uma maior velocidade de emergência, o cultivar 5D6215 IPRO não demonstrou superioridade em características relevantes como a produtividade.

Tabela 4. Resultados médios de índice de velocidade de emergência (IVE) de seis genótipos de soja cultivados em Machado (MG).

Cultivares	Médias
	IVE
5D6215 IPRO	3,8 a
NS 7200 RR	3,67 a
NS 7300 IPRO	3,42 b
NS 7667 IPRO	3,34 b
NS 7709 IPRO	3,3 b
5D634 RR	3,27 b

As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, com nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Preparado pelos autores (2016).

A resistência ao acamamento é uma característica fundamental para alcançar elevada produtividade de um cultivar e está ligada à altura das plantas. Plantas muito altas e de caules muito finos tendem ao acamamento com relativa facilidade, podendo ocasionar perdas de grãos durante a operação de colheita (SEDIYAMA, 2009). No presente trabalho, verificaram-se notas compreendidas entre 1 e 4, conforme indica a Tabela 5. Os cultivares 5D6215 IPRO, 5D634 RR, NS 7709 IPRO e NS 7200 RR foram caracterizados com menores notas de acamamento variando entre 1,75 e 2,75.

De acordo com a metodologia de Bernard et al. (1965), os cultivares destacados demonstraram-se ligeiramente acamados com menos de 20% de suas plantas acamadas, valores esses que se encontram dentro dos níveis aceitáveis para colheita mecanizada. Para os demais cultivares avaliados não foram encontrados resultados satisfatórios para a colheita mecanizada. Na região do Sul de Minas, em Lavras, Carvalho et al. (2010) avaliaram o desempenho de 24 cultivares, obtendo bons resultados de acamamento para todos os materiais avaliados, com variação média de notas entre 1,00 e 2,00.

Tabela 5. Resultados médios de nota de acamamento (Ac) de seis genótipos de soja cultivados em Machado (MG).

Cultivares	Médias
	Ac
NS 7709 IPRO	1,75 a
5D6215 IPRO	2,25 a
NS 7200 RR	2,25 a
5D634 RR	2,75 a
NS 7667 IPRO	3,75 b
NS 7300 IPRO	4,25 b

As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, com nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborada pelos autores (2016).

Para os valores de número de vagens não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos (TABELA 6). Porém este mesmo quesito foi avaliado por Perini et al. (2012), que caracterizaram os cultivares BRS-282, BRS-246 RR, Potência RR e BRS-284 com as melhores médias de número de vagens por planta variando de 40 a 50 vagens por planta.

Para o número de grãos por vagem também não houve diferenças significativas entre os diferentes cultivares analisados, em geral todos os cultivares apresentaram de 1 a 2 grãos por legume. Existem poucos trabalhos sobre a interação do número de grãos por legume em plantas de soja. O Cooperative Extension Service Ames- CESA (1994) afirma que o número de grãos por legume tem controle genético substancial e por isso tem pequena variação.

Tabela 6. Resultados médios de **número de grãos por vagem** (NG) e número de vagens por planta (NV) de seis genótipos de soja cultivados em Machado (MG).

Cultivares	Médias	
	NG	NV
NS 7200 RR	1,87 a	55,74 a
NS 7667 IPRO	1,95 a	45,18 a
NS 7300 IPRO	2,07 a	41,25 a
5D634 RR	2,26 a	40,18 a
5D6215 IPRO	2,04 a	38,94 a
NS 7709 IPRO	2,14 a	35,80 a

As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si na coluna pelo teste de Scott-Knott, com nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Preparado pelos autores (2016).

Conclusões

Os cultivares 5D634 RR, NS 7200 RR e NS 7709 IPRO apresentaram os melhores resultados de rendimento de grãos.

Os cultivares 5D6215 IPRO, 5D634 RR, NS 7709 IPRO e NS 7200 RR se encontram dentro dos níveis aceitáveis de acamamento para colheita mecanizada.

Os cultivares 5D6215 IPRO e NS 7200 RR são caracterizados pela maior velocidade de emergência.

Com base nos resultados, os cultivares de soja 5D634 RR, NS 7200 RR e NS 7709 IPRO são recomendados para a região de estudo, visto que obtêm uma produtividade superior e níveis de acamamento aceitáveis para a colheita mecanizada.

Production aspects of soybean cultivars in Machado region, south of Minas Gerais, Brazil

Abstract

Due to its productive potential and importance in human and animal nutrition, soybeans occupy a prominent position in Brazilian economy. Its cultivation in the south of Minas Gerais has been increasing compared to other crops; however, availability of adapted cultivars still low. Therefore, the present research was developed with the aim of evaluating different soybean cultivars productive aspects in Machado region, Minas Gerais, in order to identify cultivars that can be recommended for cultivation in this region. The experimental design consisted of randomized complete block design with four replications and six soybean cultivar treatments (5D6215 IPRO, 5D634 RR, NS 7709 IPRO, NS 7300 IPRO, NS 7667 IPRO and NS 7200 RR). Seeding was conducted in the second week of November/2015. It was verified that Machado region was suitable for soybean cultivation, since all

cultivars presented plant height and the first legume height of insertion was favorable to mechanized harvest. Cultivars 5D634 RR, NS 7200 RR and NS 7709 IPRO obtained the best grain yield results with 3.676,62, 3.612,45 and 3.377,90 kg ha⁻¹, respectively. Cultivars 5D6215 IPRO, 5D634 RR, NS 7709 IPRO and NS 7200 RR are within the acceptable levels of lodging for mechanized harvesting. On the other hand, cultivars 5D6215 IPRO and NS 7200 RR demonstrate an emergency speed higher than the other studied cultivars.

Keywords: *Glycine max* (L.) Merrill. Grains Yield. Adaptability.

Referências

BATISTA, E. C.; PEREIRA, J. L.; SOUZA, L. T.; BRANDÃO, W. M.; SOUZA, T. T.; SOUZA, D. F.; SILVA, F. B. Caracterização agrônômica de cultivares de soja para o Sul de Minas Gerais no Município de Inconfidentes. In: JORNADA CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA DO IFSULDEMINAS, 7., 2015. Poços de Caldas. **Resumo...**Poços de Caldas, 2015.

BERNARD, R. L.; CHAMBERLAIN, D. W.; LAWRENCE, R. D. (Eds.). **Result of the cooperative uniform soybeans tests**. Washington: USDA, 1965. 134 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília, 2009. 399 p.

CARVALHO, E. R.; REZENDE, P. M.; OGOSHI, F. G. A.; BOTREL, E. P.; ALCANTARA, H. P.; SANTOS, J. P. Desempenho de cultivares de soja [*Glycine max* (L.) Merrill] em cultivo verão no Sul de Minas Gerais, **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 4, p. 892-899, jul./ago., 2010.

COOPERATIVE EXTENSION SERVICE AMES (CESA). **How a soybean plant develops**. Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1994. 20p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB), **Acompanhamento de safra de grãos, SAFRA 2015/2016**, n. 12, setembro, 2016. Disponível em http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_09_09_15_18_32_boletim_12_setembro.pdf. Acesso em: 10 set. 2016.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Series Históricas**. 2016. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=2>. Acesso em: 10 set. 2016.

CORDEIRO JUNIOR, P. S.; FINOTO, E. L.; MARTINS, M. H.; SOUSA, J. B. L.; SOUSA NETO, J. Características agrônômicas de cultivares de soja RR1 e RR2 cultivadas em argissolo sob sistema de plantio direto na reforma de cana crua. In: WORKSHOP AGROENERGIA MATÉRIAS-PRIMAS, 10., 2016. Ribeirão Preto. **Resumo**. Centro de Convenções da Cana, Ribeirão Preto, 2016. Disponível em: http://www.infobibos.com/Agroenergia/CD_2016/Resumos/ResumoAgroenergia_2016_052.pdf Acesso em: 12 set. 2016.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA), **Tecnologias de produção de soja Região Central do Brasil 2011**. Paraná: Embrapa Soja, 2010. p. 255.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006. p. 304.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS STATISTICS DIVISION (FAOS). Production quantities of Rice, paddy by country 2014. Disponível em: <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/E>. Acesso em: 2 out. 2016.

FERREIRA, D. F. **Sisvar 5.1 - Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows**. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2007.

GUIMARÃES, F. S. **Cultivares de soja [Glycine max (L.) Merrill] para cultivo de verão na região de Lavras-MG**, Lavras, UFLA, 2006. p. 44.

MAGUIRE, J. D. Speed of germination aid in selection and evaluation for seedling and vigour, **Crop Science**, Madison, v. 2, n. 2, p. 176-177, 1962.

MARCOS FILHO, J. **Produção de sementes de soja**. Campinas: Fundação Cargill, 1986. p. 86.

PERINI, L. J.; FONSECA JÚNIOR, N. S.; DESTRO, D.; PRETE, C. E. C. Componentes da produção em cultivares de soja com crescimento determinado e indeterminado, **Semana: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, supl. 1, p. 2531-2544, 2012.

REZENDE, P. M.; CARVALHO, E. A. Avaliação de cultivares de soja [*glycine max* (L.) Merrill] para o Sul de Minas Gerais, **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 6, p. 1616-1623, nov./dez., 2007.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; VICENTE, V. H. A. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**: 5a aproximação, Lavras, UFLA, 1999. p. 359.

SEDIYAMA, C. S.; VIEIRA, C.; SEDIYAMA, T.; CARDOSO, A. A.; ESTEVÃO, H. H. Influência do retardamento da colheita sobre a deiscência das vagens e sobre a qualidade e poder germinativo das sementes de soja. **Experientiae**, Viçosa, v. 14, n. 5, p. 117-141, set. 1972.

SEDIYAMA, T.; SILVA, F.; BORÉM, A. **Soja**: do plantio à colheita. Viçosa : UFV, 2015.

SEDIYAMA, T.; TEIXEIRA, R. C. T.; BARROS, H. B. Cultivares. In: SEDIYAMA, T. (Ed.). **Tecnologias de produção e usos da soja**. Londrina, PR: Mecenias, 2009. p. 77-91.

SOUZA, C. W. A.; VEIGA, A. A.; VEIGA, P. A.; SILVA, P. A. P. L.; BERNARDES, T. A. S.; LOURENÇO, R. C. Avaliação de aspectos produtivos de diferentes cultivares de soja para região de Machado-MG. In: JORNADA CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA DO IFSULDEMINAS. 7., 2015. Poços de Caldas. **Resumo**. Poços de Caldas, 2015.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE, FOREIGN AGRICULTURAL SERVICE (USDA), **Table 07**: Soybeans: World Supply and Distribution. 2016. Disponível em: <http://apps.fas.usda.gov/psdonline/psdReport.aspx?hidReportRetrievalName=Table+07%3a+Soybeans%3a+World+Supply+and+Distribution&hidReportRetrievalID=706&hidReportRetrievalTemplateID=8>. Acesso em: 10 set. 2016.

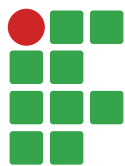
VANZOLINI, S.; CARVALHO, N. M. Efeito do vigor de sementes de soja sobre seu desempenho em campo. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 24, n. 1, p. 33-41, 2002.

VERNETTI JUNIOR, F. J.; FRAGA, M. S.; NUNES, T. L. Avaliação de cultivares de soja do grupo de maturidade seis tolerantes ao Glifosato da rede soja sul de pesquisa na Embrapa clima temperado. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIAO SUL, 38., 2010, Cruz Alta, RS. **Resumo**. Cruz Alta: Fundação Centro de Experimentação e Pesquisa, 2010. p. 41-44.

Histórico editorial

Submetido em: 16/01/2018

Aceito em: 05/03/2018



Ajuste da decomposição do lodo de esgoto e palha de aveia por modelos não lineares

Edilson Marcelino Silva¹

Sílvio de Castro Silveira²

Thais Destefani Ribeiro Furtado³

Joel Augusto Muniz⁴

Resumo

Uma forma viável econômica e ambientalmente da reciclagem do lodo de esgoto é o manejo agrícola. O conhecimento das curvas de mineralização do carbono permite buscar melhorias na qualidade do solo e maior produtividade das culturas. O objetivo deste trabalho foi avaliar o ajuste de modelos não lineares que descrevem a mineralização do carbono no solo. O experimento foi conduzido em laboratório e o delineamento foi inteiramente ao acaso, com quatro repetições e três tratamentos. Foram avaliados os seguintes tratamentos: Solo + Lodo de esgoto, Solo + Palha de aveia preta e Solo + Lodo + Palha, incorporados ao solo. Recipientes com solo e tratamento aplicado foram incubados por 110 dias. Foram utilizados os modelos Stanford & Smith e Cabrera, considerando estrutura de erros autorregressivos AR(1), quando necessário. Os ajustes foram comparados utilizando o critério de informação de Akaike (AIC). Os modelos não lineares avaliados descrevem de forma satisfatória a dinâmica de decomposição do carbono dos tratamentos. O modelo Stanford & Smith é adequado para descrever a decomposição do carbono dos tratamentos Solo + Lodo e Solo + Palha de aveia, incorporados. O modelo Cabrera é adequado para descrever a decomposição do carbono do tratamento Solo + Lodo + Palha incorporada.

Palavras-chave: Mineralização. Modelo Stanford & Smith. Modelo Cabrera. Tempo de meia-vida.

Introdução

O lodo de esgoto é um resíduo orgânico gerado ao final do processo de tratamento das águas nas estações de tratamentos domiciliares e industriais. Sua destinação final de forma ecologicamente correta e economicamente viável tem sido uma preocupação das empresas de saneamento. Por se tratar de um produto rico em matéria orgânica (MO) e nutrientes, o lodo de esgoto pode ser usado como condicionador do solo e fertilizante na agricultura (CARVALHO et al., 2015; SILVA; ANDRADE PINTO, 2010). A reciclagem agrícola do lodo de esgoto é interessante do ponto de vista econômico e ambiental, sendo alternativa benéfica para seu uso como MO, liberando nutrientes para o solo (PAREDES FILHO, 2011).

Estudos têm mostrado que o aproveitamento do lodo de esgoto na agricultura tem efeito positivo no desenvolvimento da vegetação e recuperação de solos degradados, uma vez que a decomposição

1 Universidade Federal de Lavras (UFLA), doutorando em Estatística e Experimentação Agropecuária. edilsonmg3@hotmail.com. Departamento de Estatística, Caixa Postal 37, Campus Universitário da UFLA, Lavras, Minas Gerais, 37200-000.

2 UFLA, doutor em Estatística e Experimentação Agropecuária. silviodecs@gmail.com.

3 UFLA, doutora em Estatística e Experimentação Agropecuária. t.destefani.ribeiro@gmail.com.

4 UFLA, professor titular. joamuniz@des.ufla.br.

desse resíduo gera adubo orgânico, melhorando as propriedades físicas e químicas e fornecendo macro e micronutrientes ao solo (SILVA; ANDRADE PINTO, 2010). Esses autores observaram que o lodo de esgoto foi uma alternativa viável ao meio ambiente com menor gasto em adubação e proporcionou desenvolvimento satisfatório de espécies florestais nativas.

Mesmo sendo rico em macro e micronutrientes, é necessário conhecer a decomposição do lodo de esgoto no solo para que se faça o descarte de forma adequada no meio ambiente, pois, se o descarte final do lodo não for uma alternativa segura, pode-se diminuir os benefícios do saneamento. Sabe-se que no início do processo de decomposição do resíduo orgânico no solo, a quantidade de carbono (C) mineralizada é maior, uma vez que estão presentes frações de substâncias facilmente degradáveis; em seguida, essa quantidade é reduzida por serem mineralizadas frações de carbono mais resistentes (PULROLNIK, 2009). Esta dinâmica de decomposição é descrita por modelos não lineares.

Stanford e Smith (1972) propuseram um modelo não linear que descreve o resíduo orgânico sendo composto apenas por uma fração de carbono que é mineralizada exponencialmente. O modelo Stanford & Smith tem sido o mais utilizado para modelar o CO₂ acumulado e para estimar a taxa de decomposição (k) e a quantidade de carbono potencialmente mineralizável (C₀).

Moretti et al. (2015) avaliaram dois ensaios com lodo de esgoto, no ensaio I avaliaram três doses equivalentes a 0; 21,2 e 42,4 mg ha⁻¹ e doses de composto de lodo de esgoto e no ensaio II cinco doses entre 0 e 480 mg ha⁻¹, simulando sucessivas aplicações do resíduo no solo, os autores concluíram que as frações de decomposição do composto de lodo foram maiores que as observadas para o lodo de esgoto. Paula et al. (2013) analisaram diferentes métodos de estimativas das frações mineralizadas de diversos esterco, lodo de esgoto e composto de lixo urbano em campo e observaram que após 120 dias mais de 89% das frações de carbono orgânico adicionado tinham sido mineralizados. Andrade et al. (2013) avaliaram a dinâmica de mineralização do carbono no solo após sucessivas aplicações de lodo de esgoto e observaram que houve aumento do carbono potencialmente mineralizável no solo. Todos esses autores utilizaram o modelo Stanford & Smith para modelar dados de CO₂ acumulados e liberados do solo.

Cabrera (1993) propôs um modelo não linear para descrever a mineralização de elementos químicos em duas fases, a primeira delas corresponde à quantidade facilmente mineralizável que tem comportamento exponencial e a outra, mais resistente com mineralização constante.

Sleutel et al. (2005) avaliaram o ajuste de cinco modelos não lineares, incluindo o modelo Cabrera (1993), a dados de mineralização de C de quatro resíduos orgânicos e observaram que os modelos descreveram de forma satisfatória a dinâmica do C no solo. No estudo da mineralização do C de lodo de curtume, Martines et al. (2006) observaram que no início da incubação houve uma fase de rápida mineralização, seguida de outra fase de mineralização do C mais lenta.

Prado et al. (2013) relatam que nos estudos envolvendo ajuste de modelos não lineares para dados com medidas tomadas ao longo do tempo, os erros experimentais podem ser correlacionados, o que ocorre também para dados acumulados em estudos de respiração na área de solos (HESS; SCHMIDT, 1995). Fernandes et al. (2014), Muianga et al. (2016) e Muniz et al. (2017) destacam que a estimação dessa correlação deve ser considerada no estudo dos modelos, pois levam a ajustes adequados e intervalos de confiança para os parâmetros mais precisos.

A dinâmica de decomposição de resíduos orgânicos no solo depende da composição química do resíduo, além de outros fatores, e pode ser descrita por modelos que consideram uma ou duas fases de mineralização. Esse aspecto precisa ser avaliado no processo de decomposição para melhor manejo dos solos agrícolas.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o ajuste dos modelos não lineares Stanford & Smith e Cabrera na decomposição de lodo de esgoto, palha de aveia preta e lodo + palha de aveia, incorporados ao solo, com base na quantidade de CO₂ mineralizada, e indicar o modelo mais adequado, estimando-se ainda o tempo de meia-vida do carbono potencial e facilmente mineralizável.

Material e métodos

Os dados utilizados para os ajustes dos modelos foram extraídos de Giacomini et al. (2015) e correspondem aos resultados de um experimento que avaliou a mineralização de carbono de lodo de esgoto, palha de aveia preta e lodo + palha incorporada ao solo.

O experimento foi realizado no Laboratório de Ciência do Solo da Universidade Federal de Santa Maria (RS). Um argissolo vermelho distrófico arênico da camada de 0-10 cm de uma área de plantio direto sob sucessão de soja e aveia foi avaliado. O solo apresentou 17 g kg⁻¹ de matéria orgânica, 150 g kg⁻¹ de argila e pH em água de 5,3. Após a amostragem, o solo foi peneirado (< 4,75mm), moído e armazenado em saco plástico escuro, por quatro dias antes da incubação, em temperatura ambiente.

O lodo de esgoto (LE) foi coletado na Estação de Tratamento de Esgoto de Santa Maria, da Companhia Riograndense de Saneamento. O lodo foi processado em sistema de ativação de esgoto aeróbico prolongado e fluxo contínuo. Logo após, o LE foi depositado em recipientes de secagem, de onde uma amostra de cerca de 10 kg de LE foi coletada, colocada em balde de plástico com tampa e levada ao laboratório. Após a homogeneização, foram retiradas três subamostras de LE do balde para caracterização química e física. A matéria seca foi determinada por secagem no forno de cerca de 50g de LE, a 65 °C, até peso constante. O pH foi medido diretamente em uma alíquota de cerca de 12 g de LE fresca. Após a determinação da matéria seca, foram moídas três subamostras para determinação do C total, N total, N amoniacal e N nítrico.

A palha de aveia preta foi coletada à maturidade fisiológica. Depois da coleta, a palha foi seca ao ar e armazenada até a incubação. Antes do início da incubação, as amostras de palha foram secas no forno a 65 °C até peso constante. O C total e os níveis de N foram determinados nos materiais seco e moído. As características do LE e da palha são mostradas na Tabela 1.

Tabela 1. Quantidades adicionadas ao solo de matéria seca (MS), carbono total (C) e concentração de nitrogênio (N) pelo lodo de esgoto e palha de aveia preta (GIACOMINI et al., 2015).

Material orgânico	MS	C total	N total	N Amoniacal	N Nítrico	N Orgânico	C/N	pH	
	g kg⁻¹								
Lodo	70	21,7	4,03	0,59	0,01	3,43	5,4	6,8	
Palha	1000	409,9	4,93	-	-	-	71,0		
	mg kg⁻¹								
Lodo	3505	1086	201,8	29,6	0,5	171,7	-	-	
Palha	5093	2087	25,1	-	-	-	-	-	

Fonte: Elaborada pelos autores (2018).

Foi medida a mineralização do C do lodo, da palha e do lodo + palha, incorporados ao solo. O delineamento foi inteiramente ao acaso com quatro repetições, em que foram avaliados os seguintes tratamentos: Solo + Lodo de esgoto, Solo + Palha de aveia preta e Solo + Lodo + Palha. Foram incubados por 110 dias recipientes com solo e tratamento aplicado, no escuro, a 25 °C. A umidade do solo foi ajustada para aproximadamente 80% da capacidade de campo e mantida a este nível ao longo do período de incubação adicionando água periodicamente. O experimento utilizou recipientes acrílicos (diâmetro 5,0 cm, volume 110,0 mL).

Cada recipiente recebeu 133,1 g de solo com 13% de teor de água e foi compactado a uma altura de 5 cm para atingir uma densidade aparente de 1,2 mg m⁻³. A palha seca foi cortada manualmente (comprimento 10-20 mm) e adicionada (600 mg por recipiente, correspondendo a 3 mg ha⁻¹ de palha seca). O LE fresco foi adicionado ao solo a uma taxa de 30 mg ha⁻¹. Palha e LE foram incorporados ao solo antes de preencher os recipientes. Os recipientes de acrílico foram condicionados individualmente dentro de 800 mL de recipientes de vidro equipados com tampa pressionada. Todos os recipientes de vidro foram arejados periodicamente durante 10 minutos para evitar déficit de O₂. A umidade do solo foi controlada pesando cada unidade experimental e adicionando água quando necessário usando uma pipeta. A mineralização do C foi avaliada pela quantidade de CO₂ liberada aos 2, 4, 6, 10, 14, 21, 28, 35, 45, 60, 75, 86 e 110 dias após o início da incubação nos mesmos frascos.

Avaliou-se o modelo Stanford & Smith dado por $C_t = C_0(1 - \exp(-kt)) + \varepsilon_t$ e o modelo Cabrera dado por $C_t = C_1(1 - \exp(-k_1t)) + k_0t + \varepsilon_t$. Zeviani et al. (2012) propuseram uma reparametrização do modelo em que $k_1 = \ln 2/v$, assim, o modelo é dado por $C_t = C_1(1 - \exp(-\ln 2.t/v)) + k_0t + \varepsilon_t$. Nos modelos, C_t corresponde ao carbono mineralizado, em mg de CO₂ kg⁻¹, até o tempo t (em dias); C_0 carbono potencialmente mineralizável; k e k_0 são taxas de mineralização; C_1 carbono facilmente mineralizável; v tempo de meia-vida do carbono facilmente mineralizável; ε_t o erro experimental que supõe-se com distribuição normal com média 0 e variância σ^2 . O tempo de meia-vida do carbono potencialmente mineralizável para o modelo Stanford & Smith foi estimado pela expressão $v = \ln(2)/k$. De acordo com Fernandes et al. (2015), a reparametrização não altera os valores estimados pelo modelo nem os valores das estimativas de qualidade de ajuste. É importante ressaltar que, se o parâmetro k_0 do modelo Cabrera for zero, o modelo Cabrera reduz-se ao modelo Stanford & Smith.

A adequação dos modelos foi feita com base na análise dos erros estimados, sendo aplicados os testes: Shapiro-Wilk, para verificar o pressuposto de normalidade dos erros; Breusch-Pagan, para verificar a hipótese de que os erros experimentais são homocedásticos e Durbin-Watson para verificar o pressuposto de independência dos erros. Quando o teste de Durbin-Watson indicou que os erros eram dependentes, considerou a estrutura $\varepsilon_t = \phi\varepsilon_{t-1} + \lambda_t$, em que ϕ é o parâmetro autorregressivo de primeira ordem AR(1) e λ_t é o ruído branco (MORETTIN; TOLOI, 2006). A suposição de normalidade sendo atendida, pode-se estimar o intervalo de confiança de 95% de probabilidade para os parâmetros do modelo.

A qualidade do ajuste foi avaliada pelo coeficiente de determinação ajustado,

$$R^2_{aj} = 1 - \frac{(n-1)(1-r^2)}{n-p}$$

sendo que valores mais próximos de 1 indicam melhores ajustes.

A seleção do melhor modelo foi feita com base no critério de informação de Akaike: $AIC = -2\ln L() + 2p$, que é proporcional ao quadrado médio do resíduo, sendo mais adequado o modelo que apresentar o menor valor. Nas expressões, n é o número de observações utilizadas para

ajuste do modelo, i está relacionado ao intercepto do modelo, que é igual a 1 se houver intercepto e 0 em caso contrário, p o número de parâmetros, $R^2 = 1 - \text{SQE}/\text{SQT}$ o coeficiente de determinação, sendo SQE a soma de quadrados dos erros, SQT a soma de quadrados total e $\lnL()$ o valor do logaritmo natural da função de verossimilhança, considerando as estimativas dos parâmetros.

Nos estudos com modelos não lineares, não há forma fechada para resolver o sistema de equações normais, assim, a estimação dos parâmetros é feita de forma aproximada por métodos numéricos iterativos (DRAPER; SMITH, 2014). Entre os métodos iterativos, o Gauss-Newton é o mais utilizado (CARNEIRO, et al., 2014; FERNANDES et al., 2014; GUEDES et al., 2004; SILVEIRA et al., 2018). A estimação dos parâmetros foi feita pelo método dos mínimos quadrados generalizados, implementado na função `gnls` do pacote `nlme` (PINHEIRO et al., 2015), do software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2017).

Resultados e discussão

Os resultados da análise dos erros estimados pelos modelos, com base nos dados de mineralização do carbono no solo, para os testes de Shapiro-Wilk (SW), Breusch-Pagan (BP) e Durbin-Watson (DW), estão apresentados na Tabela 2. Para os três tratamentos e ambos os modelos, o teste de SW não foi significativo (p -valor $> 0,05$), corroborando a suposição de normalidade dos erros pelo teste. Pelo teste de BP verificou-se que a hipótese de homogeneidade de variâncias não foi rejeitada (p -valor $> 0,05$) para os três tratamentos e ambos os modelos, indicando que as variâncias foram homogêneas. Pelo teste de DW percebe-se que houve dependência nos erros ($p < 0,05$) para os tratamentos Solo + Lodo + Palha e Solo + Palha para os dois modelos, ou seja, a hipótese de independência dos erros foi rejeitada, e esta correlação foi considerada no estudo. Desta forma, foi apresentado ajuste com erro autorregressivo de primeira ordem AR(1) para explicar a dependência dos erros desses tratamentos para os dois modelos. Essa correlação dos erros também foi observada por Hess e Schmidt (1995) no ajuste de modelo não linear a dados acumulados da liberação de CO_2 do solo. Pereira et al. (2005), na comparação de oito modelos não lineares para prever a quantidade de nitrogênio mineralizado no solo, obtiveram dependência residual para dois modelos e consideraram os erros autorregressivos de ordem AR(p) nos modelos ajustados.

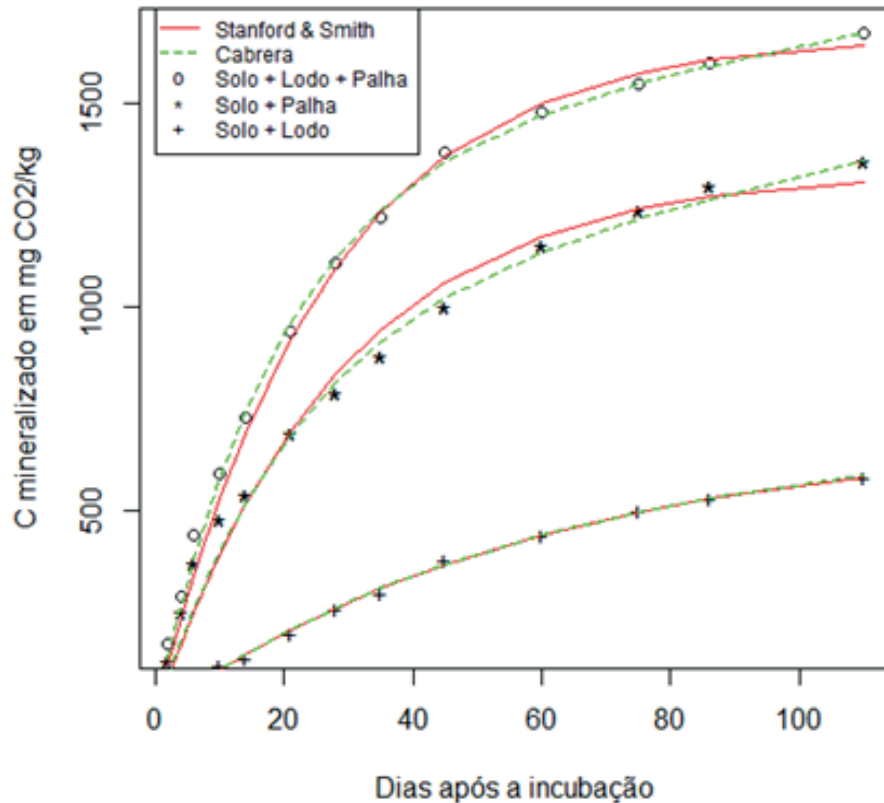
Tabela 2. P-valores dos testes de Shapiro-Wilk (SW), Durbin-Watson (DW) e Breusch-Pagan (BP) aplicados aos erros dos modelos e avaliadores de qualidade de ajuste, coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}) e critério de informação de Akaike (AIC) para o carbono mineralizado, em $\text{mg CO}_2/\text{kg}$, dos tratamentos analisados.

Tratamento	Modelo	SW p-valor	BP p-valor	DW p-valor	R^2_{aj}	AIC
Solo+Lodo+Palha	Stanford & Smith	0,4881	0,5067	0,0020	0,9939	128,99
Solo+Lodo+Palha	Cabrera	0,7745	0,3023	0,0120	0,9976	125,56
Solo+Palha	Stanford & Smith	0,8777	0,2086	0,0000	0,9686	133,81
Solo+Palha	Cabrera	0,2866	0,2519	0,0040	0,9861	134,63
Solo+Lodo	Stanford & Smith	0,4782	0,0884	0,4220	0,9984	93,79
Solo+Lodo	Cabrera	0,4412	0,1783	0,2740	0,9983	95,78

Fonte: Elaboração dos autores (2018).

Observa-se na Tabela 2 que, ajustando os modelos aos dados de decomposição de C, foram obtidos valores de R^2_{aj} superiores a 0,96, indicando que o modelo descreve de forma adequada os dados (FIGURA 1). Sleutel et al. (2005) avaliaram o ajuste de cinco modelos não lineares na mineralização de C de quatro tipos de resíduos orgânicos e obtiveram valores de R^2_{aj} superiores a 0,97, concluindo que os modelos descreveram de forma satisfatória os dados.

Figura 1. Modelo Stanford & Smith e Cabrera ajustado à mineralização de carbono, em mg de $\text{CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1}$, dos resíduos orgânicos no solo em função do tempo de incubação.



Fonte: Elaboração dos autores (2018).

As estimativas dos parâmetros dos modelos com seus respectivos intervalos de confiança de 95% de probabilidade estão apresentados na Tabela 3. Percebe-se que a estimativa do intervalo de confiança do parâmetro k_0 do modelo Cabrera considerando o tratamento Solo + Lodo incluiu o valor zero, de acordo com Zeviani et al. (2012) esse resultado indica um valor paramétrico zero, ou seja, o modelo Cabrera não se ajustou a esse tratamento; portanto, desconsiderando o parâmetro k_0 , o modelo se reduz ao de Stanford & Smith com apenas uma fração de carbono potencialmente mineralizável. Resultados semelhantes foram encontrados por Sleutel et al. (2005) ao ajustar o modelo Cabrera e obter k_0 igual a zero a dados de decomposição de C de composto de resíduos urbanos. Para os tratamentos Solo + Lodo + Palha e Solo + Palha, considerando-se o modelo Cabrera, observa-se pelas estimativas dos intervalos de confiança que todos os parâmetros do modelo não incluíram o valor zero, mostrando que o modelo descreve os tratamentos. O modelo Stanford & Smith ajustou-se aos dados dos três tratamentos, pois pelas estimativas dos intervalos de confiança percebe-se que todos os parâmetros do modelo não incluíram o valor zero.

Para o tratamento Solo + Lodo + Palha foi obtido menor valor de AIC (TABELA 2) para o modelo Cabrera, sendo este modelo o mais adequado para descrever esse tratamento. Esse tratamento possui duas frações de C, uma que é de fácil mineralização com comportamento exponencial e outra fração mais resistente com mineralização constante. Para o tratamento Solo + Palha, observa-se menor valor de AIC (TABELA 2) para o modelo Stanford & Smith, sendo este o modelo mais adequado para descrever esse tratamento. Esse tratamento possui apenas uma fração de C potencialmente mineralizável que é mineralizada exponencialmente.

Tabela 3. Estimativas para os parâmetros dos modelos e seus respectivos intervalos de confiança assintóticos de 95% (LI – limite inferior e LS – limite superior), no ajuste do C mineralizado, em mg de CO₂.kg⁻¹ dos tratamentos analisados.

	Modelo Stanford & Smith			Modelo Cabrera		
	LI	Estimativa	LS	LI	Estimativa	LS
Solo + Lodo + Palha						
C ₀	1576,41	1670,14	1763,87	C ₁	1182,10	1355,51
k	0,0324	0,0382	0,0440	v	10,83	13,30
φ	0,4802	0,8008	1,1215	k ₀	1,16	2,94
v	15,75	18,14	21,39	φ	-0,2494	0,4344
Solo + Palha						
C ₀	1228,45	1389,51	1550,57	C ₁	669,14	1004,74
k	0,0203	0,0277	0,0349	v	7,88	15,24
φ	0,3773	0,8863	1,3952	k ₀	0,16	3,26
v	19,86	25,02	34,14	φ	-0,0550	0,7405
Solo + Lodo						
C ₀	660,23	692,30	729,13	C ₁	387,42	666,64
k	0,0154	0,0169	0,0185	v	24,47	39,77
v	37,46	41,01	45,00	k ₀	-6,38	0,15

Fonte: Elaboração dos autores (2018).

Considerando o modelo Stanford & Smith, na Tabela 3, observa-se que houve diferença significativa entre o carbono potencialmente mineralizável (C₀) dos tratamentos, visto que não houve sobreposição nas estimativas dos intervalos de confiança, o tratamento Solo + Lodo + Palha apresentou maior quantidade potencialmente mineralizável, seguida do tratamento Solo + Palha e o tratamento Solo + Lodo a menor quantidade. Esse resultado corrobora as conclusões obtidas por Giacomini et al. (2015) que observaram comportamento semelhante após 110 dias do início da incubação. Esses autores atribuíram essa diferença às quantidades de C adicionadas em cada tratamento, bem como pelas diferentes composições químicas dos materiais orgânicos que facilitaram a utilização do C pelos microrganismos. Na Tabela 1, observa-se que a quantidade de C adicionada pela palha de aveia é aproximadamente duas vezes maior que a adicionada pelo lodo de esgoto.

Pela estimativa do intervalo de confiança do parâmetro taxa de mineralização (k), percebe-se que o tratamento Solo + Lodo foi significativamente menor (não houve sobreposição nas estimativas dos intervalos de confiança) que os demais tratamentos; consequentemente, o tempo de meia-vida (v) foi significativamente maior para este tratamento, com estimativa de aproximadamente 41 dias. Apesar de o carbono potencialmente mineralizável do tratamento Solo + Lodo + Palha ser

maior que o tratamento Solo + Palha, não houve diferença na taxa de mineralização (k), pois houve sobreposição nas estimativas dos intervalos de confiança para o parâmetro, consequentemente, não houve diferença significativa entre os tempos de meia-vida (v), que foram de aproximadamente 18 e 25 dias, respectivamente.

Observa-se na Tabela 3 que o tratamento Solo + Lodo + Palha, considerando o Modelo Cabrera, não apresentou maior valor de carbono facilmente mineralizável (C_1) se comparado com o tratamento Solo + Palha, pois houve sobreposição nas estimativas dos intervalos de confiança, assim, adicionando Lodo à Palha não aumentou a atividade dos microrganismos na decomposição das frações facilmente degradáveis. Resultado semelhante foi observado por Moretti et al. (2015) que para dose de lodo de $42,4 \text{ mg ha}^{-1}$ não encontraram maior valor de carbono potencialmente mineralizável (C_0) que a dose de $21,2 \text{ mg ha}^{-1}$.

As estimativas dos tempos de meia-vida do carbono facilmente mineralizável (v), considerando o modelo Cabrera, foram de aproximadamente 13 e 15 dias (TABELA 3) para os tratamentos Solo + Lodo + Palha e Solo + Palha, respectivamente, não diferindo estatisticamente entre si, pois houve sobreposição nas estimativas dos intervalos de confiança. Esse resultado está de acordo com os obtidos por Moretti et al. (2015), em ensaio, que para cinco doses entre 0 e 480 mg ha^{-1} não observaram diferença significativa no tempo de meia-vida do carbono potencialmente mineralizável; para duas doses, o tempo de meia vida foi de 15 dias e pertence aos intervalos de confiança. Esses resultados são superiores aos obtidos por Martines et al. (2006), que obtiveram tempo de meia-vida do carbono potencialmente mineralizável de 6 dias em média para aplicação de doses de lodo de curtume a solos com distinta classe textural, essa diferença provavelmente se deve à diferença na composição química do lodo de esgoto e do lodo de curtume. Paula et al. (2013), comparando a taxa de mineralização (k) do modelo Stanford & Smith de vários resíduos na superfície do solo em campo, obtiveram maior valor deste parâmetro para o lodo de esgoto, evidenciando, nos primeiros dias, maior decomposição desse resíduo.

Conclusão

O modelo Stanford & Smith é adequado para descrever a decomposição do carbono dos tratamentos Solo + Lodo incorporado e Solo + Palha de aveia incorporada.

O modelo Cabrera é adequado para descrever a decomposição do carbono do tratamento Solo + Lodo + Palha incorporada.

O tempo de meia-vida (v) do carbono potencialmente mineralizável é de aproximadamente 41 dias para o tratamento Solo + Lodo e é superior aos tratamentos Solo + Palha e Solo + Palha + Lodo, que é de aproximadamente 25 e 18 dias, respectivamente.

O tempo de meia-vida (v) do carbono facilmente mineralizável é de aproximadamente 13 e 15 dias para os tratamentos Solo + Lodo + Palha e Solo + Palha, respectivamente, e não apresentam diferença significativa entre si.

Agradecimentos

À CAPES, pela bolsa de doutorado concedida ao primeiro autor.

Fitting of decomposition of sewage sludge and oat straw by nonlinear models

Abstract

An economic and environmentally feasible way to recycle sewage sludge is its use in agriculture. Information on carbon mineralization curves allows us to seek improvements in soil quality and crop productivity. The objective of this work was to evaluate the nonlinear models that describe carbon mineralization in the soil. The experiment was conducted in laboratory and the design was completely randomized, with four replicates and three treatments. The following treatments were evaluated: sewage sludge, black oat straw and sewage sludge + oat straw, incorporated into the soil. Pots with soil and the applied treatment were incubated for 110 days. The Stanford and Smith and Cabrera models were used, considering structure of autoregressive errors AR (1) when necessary. The fittings were compared using the Akaike Information Criterion (AIC). The evaluated nonlinear models described the carbon decomposition dynamics of the treatments satisfactorily. The Stanford and Smith model is suitable for describing the carbon decomposition in the soil + sludge and soil + oat straw treatments. The Cabrera model is suitable to describe the carbon decomposition of the soil + sludge + straw treatment.

Keywords: Mineralization. Stanford and Smith model. Cabrera model. Half-life.

Referências

ANDRADE, C. A.; SILVA, L. F. M.; PIRES, A. M. M.; COSCIONE, A. R. Mineralization of carbon and nitrogen in soil after successive applications of sewage sludge. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 48, n. 5, p. 536-544, maio 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2013000500010&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 11 fev. 2017.

CABRERA, M. L. Modeling the flush of nitrogen mineralization caused by drying and rewetting soils. **Soil Science Society of America Journal**, Fayetteville, v. 57, p. 63-66, 1993.

CARNEIRO, A. P. S.; MUNIZ, J. A.; CARNEIRO, P. L. S.; MALHADO, C. H. M. M.;

MARTINS FILHO, R.; SILVA, F. F. Identity of nonlinear models to compare growth curves of the cattle breed Tabapuã. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 49, n. 1, p. 57-62, jan. 2014. Disponível em: <<https://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/view/18183>>. Acesso em: 04 ago. 2017.

CARVALHO, C. S.; RIBEIRINHO, V. S.; ANDRADE, C. A.; GRUTZMACHER, P.; PIRES, A. M. M. Chemical composition of sewage sludge organic matter. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 10, n. 3, p. 413-419, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5039/agraria.v10i3a5174>>. Acesso em: 11 dez. 2016.

DRAPER, N. R.; SMITH, H. **Applied regression analysis**. 3 ed., reprint. New York: J. Wiley, p. 505-565, 2014.

FERNANDES, T. J.; MUNIZ, J. A.; PEREIRA, A. A.; MUNIZ, F. R.; MUIANGA, C. A. Parameterization effects in nonlinear models to describe growth curves. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 37, n. 4, p. 397-402, 2015. Disponível em: <http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciTechnol/article/view/27855/pdf_119>. Acesso em: 5 mar. 2017.

FERNANDES, T. J.; PEREIRA, A. A.; MUNIZ, J. A.; SAVIAN, T. V. Selection of nonlinear models for the description of the growth curves of coffee fruit. **Coffee Science**, Lavras, v. 9, n. 2, p. 207-215, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.25186/cs.v9i2.618>>. Acesso em: 5 mar. 2017.

GIACOMINI, S. J.; SIMON, V. L. G.; AITA, C.; BASTOS, L. M.; WEILER, D. A.; REDIN, M. Carbon and nitrogen mineralization in soil combining sewage sludge and straw. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 1428-1435, 2015. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832015000501428&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 29 jan. 2017.

GUEDES, M. H. P.; MUNIZ, J. A.; PEREZ, J. R. O.; SILVA, F. F.; AQUINO, L. H.; SANTOS, C. L. Growth functions of Santa Inês and Bergamacy lambs considering heteroscedastic variance. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 28, n. 2, p. 381-388, 2004. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-70542004000200019&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 06 mar. 2017.

HESS, T. F.; SCHMIDT, S. K. Improved procedure for obtaining statistically valid parameter estimates from soil respiration data. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 27, p. 1-7, 1995. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/003807179400166X>>. Acesso em: 28 nov. 2016.

MARTINES, A. M.; ANDRADE, C. A.; CARDOSO, E. J. B. N. Mineralization of the organic carbon in soils treated with tannery sludges. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 7, p. 1149-1155, 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2006000700011&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 28 nov. 2016.

MORETTI, S. M. L.; BERTONCINI, E. I.; ABREU JUNIOR, C. H. Decomposition of sewage sludge and sewage sludge compost in a hapludox soil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, p. 1796-1805, 2015. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832015000601796&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 12 jan. 2017.

MORETTIN, P. T.; TOLOI, C. M. C. **Análise de séries temporais**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, p. 110-119, 2006.

MUIANGA, C. A.; MUNIZ, J. A.; NASCIMENTO, M. S. FERNANDES, T. J.; SAVIAN, T. V. Description of the growth curve of cashew fruits in nonlinear models. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 38, n. 1, p. 22-32, 2016. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-29452016000100022&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 7 ago. 2017.

MUNIZ, J. A.; NASCIMENTO, M. S.; FERNANDES, T. J. Nonlinear models for description of cacao fruit growth with assumption violations. **Revista Caatinga**, v. 30, n. 1, p. 250-257, 2017. Disponível

em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1983-21252017000100250&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 05 set. 2017.

PAULA, J. R.; MATOS, A. T.; MATOS, M. P.; PEREIRA, M. S.; ANDRADE, C. A. Carbon and nitrogen mineralization of wastes applied to soil under field conditions. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, p. 1729-1741, 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832013000600029&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 12 nov. 2017.

PAREDES FILHO, M. V. Composting of sewage sludge for agricultural use. **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre, v. 3, p. 73-80, dezembro, 2011. Disponível em: <<https://doi.org/10.18406/2316-1817v3n32011364>>. Acesso em: 08 ago. 2017.

PEREIRA, J. M.; MUNIZ, J. A.; SILVA, C. A. Nonlinear models to predict nitrogen mineralization in an oxisol. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 62, n. 4, p. 395-400, 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-90162005000400014&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 14 mar. 2018.

PINHEIRO, J.; BATES, D.; DEBROY, S.; SARKAR, D. **nlme: linear and nonlinear mixed effects models**. R package version 3, p. 1-122, 2015.

PRADO, T. K. L.; SAVIAN, T. V.; MUNIZ, J. A. The fit Gompertz and Logistic models to the growth data of green dwarf coconut fruits. **Ciência Rural**, v. 43, n. 5, p. 803-809, 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782013000500008&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 12 set. 2017.

PULROLNIK, K. **Transformações do carbono no solo**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, p. 1-36, 2009.

R Core team. **R: a language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing Viena: 2017.

SILVA, B. V. N.; ANDRADE PINTO, L. V.; Potential use of the sewage sludge as organic manuring in covering forestation native arboreal species planted in area degraded by intensive pasturing. **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre, p. 50-56, abril, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.18406/2316-1817v2n12010251>>. Acesso em: 18 mar. 2017.

SILVEIRA, S. C.; MUNIZ, J. A.; SOUSA, F. A.; CAMPOS, A. T. Non-linear models adjusted to the accumulated production of biogas originating from swine deep bedding. **Revista Agrogeoambiental**, v. 10, n. 3, p. 91-103, 2018. Disponível em: <<https://agrogeoambiental.ifsuldeminas.edu.br/index.php/Agrogeoambiental/article/view/1168/pdf>>. Acesso em: 26 nov. 2018.

SLEUTEL, S.; NEVE, S.; ROIBÁS, M. R. P.; HOFMAN, G. The influence of model type and incubation time on the estimation of stable organic carbon in organic materials. **European Journal of Soil Science**, v. 56, p. 505-514, 2005. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1365-2389.2004.00685.x>>. Acesso em: 23 nov. 2016.

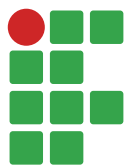
STANFORD, G.; SMITH, S. J. Nitrogen mineralization potentials of soil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 36, n. 3, p. 465-471, 1972.

ZEVIANI, W. M.; SILVA, C. A.; OLIVEIRA, W. J.; MUNIZ, J. A. Non-linear models to potassium release from animals manure in Latosols. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 10, p. 1789-1796, 2012. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782012001000012&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 23 nov. 2016.

Histórico editorial

Submetido em: 14/12/2017

Aceito em: 15/03/2018



Gestão de resíduos sólidos urbanos nos municípios componentes da 17^a Cia PM Ind MAT

Maximiliano Silva Soares¹

Luiz Flávio Reis Fernandes²

Resumo

Instituída por meio da Lei n. 12.305/2010, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) criou mecanismos e estabeleceu as diretrizes gerais para que todos os entes, públicos e privados, responsáveis pela gestão de resíduos sólidos desempenhassem suas atividades de maneira integrada e complementar. Aos municípios, em razão de suas atribuições constitucionais, coube a maior parte dos encargos previstos. Com o objetivo de diagnosticar a situação atual da gestão de resíduos sólidos urbanos (RSU) nos 72 municípios situados na área de atuação da 17^a Companhia de Polícia Militar Independente de Meio Ambiente e Trânsito (Cia PM Ind MAT), a pesquisa foi realizada por meio de questionários estruturados respondidos por policiais militares de meio ambiente em conjunto com gestores municipais. Os resultados indicam que, na maior parte deles, as ações e os instrumentos da PNRS não estão sendo aplicados e, em uma parte desses municípios, a disposição final dos rejeitos, mesmo depois de exauridos os prazos legais, continua sendo realizada de maneira ambientalmente inadequada.

Palavras-chave: Regularização ambiental. Fiscalização. Polícia de Meio Ambiente.

Introdução

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei n. 12.305/2010, de 02 de agosto de 2010, estabeleceu diretrizes gerais para a gestão de resíduos sólidos em todo o território nacional. Abrangente em sua essência, a lei extinguiu o histórico vazio normativo existente no Brasil a respeito do assunto, prevendo importantes inovações conceituais ao dispor sobre temas como logística reversa e inclusão social de catadores. Ao apresentar seus princípios e objetivos, a PNRS definiu como prioridades de Estado a adoção de padrões sustentáveis de consumo, o estímulo à reutilização/reciclagem de resíduos e, principalmente, a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos (BRASIL, 2010).

Fleck (2016) afirma que no Brasil sempre existiu a ideia de que gerir resíduos sólidos abrangia, tão somente, a contratação de serviços de coleta, varrição e capina, sem qualquer preocupação com o destino dado aos resíduos recolhidos. Tal conceito, arcaico e obsoleto, por muito tempo favoreceu a existência de lixões e outras formas inadequadas de disposição final. Além disso, também contribuiu para a ausência de estímulo por parte do poder público às práticas de coleta seletiva, reciclagem e compostagem de resíduos.

Em relação aos lixões, é essencial destacar que tal modalidade de disposição final de resíduos sólidos urbanos (RSU) causa impactos significativos de ordem ambiental, sanitária e social. Conforme

1 Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais (IFSULDEMINAS), pós-graduando em Gestão Ambiental. maximiliano.silva@pmmg.mg.gov.br. Av. João Batista Piffer, n. 2, B. São Cristóvão, Pouso Alegre (MG), 37550-000.

2 Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais (IFSULDEMINAS), docente do curso de pós-graduação em Gestão Ambiental. luiz.flavio@ifsuldeminas.edu.br.

descreve Batista et al. (2010), entre esses impactos, pode-se citar a degradação da paisagem natural, a depreciação da qualidade do solo, a contaminação de águas superficiais e subterrâneas, a proliferação de vetores responsáveis pela transmissão de doenças graves, além da situação dos catadores que, sem outras alternativas de renda, acabam por garantir sua subsistência com a venda de materiais recicláveis ou se alimentando de resíduos encontrados nesses locais.

Esta concepção ultrapassada sobre a gestão de RSU acabou sendo substituída pelos instrumentos de gestão concebidos na Lei 12.305/2010. Foi a partir deste marco legal que, para além do poder público, outros importantes atores passaram a ostentar o status de corresponsáveis pela gestão dos resíduos sólidos gerados, conforme prevê o art. 3º da referida norma:

“XVII – responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos: conjunto de atribuições individualizadas e encadeadas dos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, dos consumidores e dos titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos, para minimizar o volume de resíduos sólidos e rejeitos gerados, bem como para reduzir os impactos causados à saúde humana e à qualidade ambiental decorrentes do ciclo de vida dos produtos, nos termos desta Lei;” (BRASIL, 2010).

Ocorre que, embora vários sejam os entes responsáveis pela implementação da PNRS, é notório que os municípios receberam a maior parte das atribuições nela previstas. Em razão de sua competência constitucional de “organizar e prestar os serviços públicos [...] de interesse local [...] de caráter essencial” (BRASIL, 1988), a partir da edição da Lei n. 12.305/2010, passou a ser obrigação legal dos municípios confeccionar seus planos de gestão integrada de resíduos sólidos (PGIRS), apoiar o desenvolvimento de cooperativas de catadores, implementar medidas para reduzir o volume de rejeitos encaminhados para disposição final, implantar sistemas de logística reversa, entre outras (BEZERRA, A.; BEZERRA, F., 2015).

Para a consecução das obrigações legais, a PNRS previu a possibilidade de repasse de recursos orçamentários aos municípios que elaborassem seus respectivos PGIRS, permitindo, inclusive, que o fizessem por meio de consórcios públicos (BRASIL, 2010). Ocorre que a lei não estabeleceu mecanismos de suporte técnico e metodológico, inviabilizando a elaboração dos planos pela maior parte dos municípios brasileiros e impedindo o acesso a fontes de financiamento público destinadas à implantação dos instrumentos de gestão nela previstos (BEZERRA, A.; BEZERRA, F., 2015).

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente, em 2013, apenas 33,5% dos municípios brasileiros declararam possuir PGIRS nos termos estabelecidos pela PNRS. Dois anos depois, em 2015, este percentual chegou a 41,7% (BRASIL, 2017), confirmando as dificuldades enfrentadas pelos gestores municipais, conforme citado anteriormente.

Conforme destaca Monterosso (2016), os planos de gestão são extremamente relevantes para o manejo de RSU nos municípios, uma vez que, além de promoverem o diagnóstico da situação vigente, também contemplam possíveis soluções sustentáveis, de médio e longo prazo, para tratamento dos resíduos e disposição final dos rejeitos.

Apesar das dificuldades enfrentadas, em todo o país, diversas ações de órgãos estatais e da iniciativa privada têm pretendido melhorar este panorama e fomentar a participação efetiva dos municípios na implementação das diretrizes fixadas pela PNRS.

Em Minas Gerais, o Programa Minas Sem Lixões, criado em 2003 e gerenciado pela Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM), constitui um esforço coordenado do Governo do Estado para

integração e fomento de soluções comuns, com o objetivo de oferecer suporte aos municípios para adequação às normas de gestão adequada de RSU definidas pelo Conselho Estadual de Política Ambiental – COPAM (BRUSCHI, 2011).

Segundo FEAM (2016), tais esforços não têm sido suficientes para garantir o atendimento integral às medidas impostas pela PNRS, conforme demonstra o último relatório situacional da destinação de RSU publicado pela própria fundação e produzido com base nos seguintes dados:

- I. vistorias realizadas em 2015;
- II. levantamento de dados do período de 2001 a 2014, a partir do Relatório Panorama da destinação dos resíduos sólidos urbanos em Minas Gerais em 2014 (FEAM, 2015);
- III. levantamento de dados obtidos por meio da atualização do cadastro no ICMS ecológico, subcritério saneamento ambiental;
- IV. levantamento de dados obtidos por meio de consultas ao SIAM em relação à regularização ambiental dos sistemas de tratamento e/ou disposição final dos resíduos sólidos urbanos, de responsabilidade de cada administração municipal inserida no Estado de Minas Gerais;" (FEAM, 2016).

Além de não disporem de planos de gestão e, portanto, de recursos orçamentários especificamente destinados a essa finalidade, a maior parte dos municípios mineiros conta com pouca ou nenhuma ação concreta de estímulo e fomento à redução de geração, reutilização, reciclagem e tratamento adequado dos resíduos. Do mesmo modo, a disposição ambientalmente adequada dos rejeitos ainda é uma realidade muito distante do cotidiano de uma parte considerável da população do estado (FEAM, 2016).

Nesse sentido, torna-se importante destacar que várias são as possibilidades e métodos para disposição final de resíduos. Para fins de análise e discussão nesta pesquisa, serão utilizadas as definições adotadas pela FEAM em Minas Gerais que estabelece como formas ambientalmente adequadas de disposição final os aterros sanitários e as usinas de triagem e compostagem (UTC). Os aterros controlados e os lixões são classificados pela FEAM como formas inadequadas de disposição final.

A definição técnica de aterro sanitário remete às formas de disposição final de RSU que apresentam os menores impactos possíveis à saúde pública e ao meio ambiente. Neste método, os resíduos são confinados em áreas reduzidas e diminuídos ao menor volume permitido, sempre recobertos por camadas de terra após o término de cada trabalho.

As UTCs constituem empreendimentos que realizam a separação dos resíduos em três frações: materiais com potencial de reciclagem conhecido, matéria orgânica e rejeitos. Após a separação, os recicláveis são reduzidos ao menor volume possível e armazenados para ulterior comercialização; a matéria orgânica passa por processos de compostagem e pode ser reutilizada para diversas finalidades; e os rejeitos são dispostos em valas situadas nas proximidades da usina ou em aterros sanitários.

Por outro lado, os aterros controlados são locais de disposição final que cumprem apenas regras mínimas fixadas pela FEAM para reduzir os impactos causados pela atividade. O entendimento da Fundação é de que esta forma de disposição final, apesar de inadequada, ainda é preferível aos lixões.

Os lixões consistem no lançamento a céu aberto, sem nenhum critério ou cuidado técnico, dos RSU coletados. A FEAM utiliza critérios como a presença de catadores, o não atendimento às regras que fixam a frequência mínima de recobrimento e a queima dos resíduos para classificar os locais de disposição final como lixões.

Neste contexto, a presente pesquisa propõe-se a analisar as condições da gestão de RSU nos municípios componentes da área de atuação da 17ª Companhia de Polícia Militar Independente de Meio Ambiente e Trânsito (17ª Cia PM Ind MAT), além de verificar a veracidade das informações prestadas à FEAM e o estágio atual da elaboração dos planos de gestão integrada de resíduos sólidos nesses municípios.

Materiais e métodos

A 17ª Cia PM Ind MAT é unidade da Polícia Militar de Minas Gerais (PMMG) responsável pelo policiamento de meio ambiente no sul do estado e tem como missão zelar pelo meio ambiente e pelos recursos naturais, proteger a fauna e a flora, controlar a exploração florestal e a pesca predatória por meio de um trabalho preventivo e de fiscalização contínua (MINAS GERAIS, 2016).

Criada no ano de 2009, a Unidade atende setenta e dois municípios e possui área de atuação de 18.204 km², subdividindo-se em oito frações de policiamento de meio ambiente sediadas nas seguintes localidades: Pouso Alegre, Extrema, Ouro Fino, São Lourenço, Itamonte, Aiuruoca, Itajubá e Paraisópolis. Juntas, essas frações atendem cerca de 1.200.000 (um milhão e duzentos mil) habitantes (IBGE, 2010).

Ainda segundo o IBGE (2010), 72% desses municípios têm população urbana menor que 10.000 habitantes. São, portanto, municípios pequenos, em sua maioria desprovidos de servidores com capacitação técnica adequada para a confecção dos PGIRS e para acompanhamento da implementação dos outros instrumentos previstos na PNRS (MONTEROSSO, 2016).

Na Figura 1, está representada a área de atuação da Unidade:

Figura 1. Mapa da área de atuação da 17ª Cia PM Ind MAT



Fonte: Seção de Emprego Operacional – 17ª Cia PM Ind MAT(2017).

Nesse cenário, a pesquisa foi iniciada com o levantamento das informações disponíveis para consulta pública no sítio eletrônico do Programa Minas Sem Lixões (<http://www.feam.br/minas-sem-lixoes>) sobre a gestão de resíduos sólidos nos municípios de Minas Gerais. Foram consultados o Diagnóstico de Consórcios Intermunicipais para a Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos em Minas Gerais, publicado pela FEAM em 2014, contendo dados coletados até o mês de junho daquele ano, além do Panorama da Gestão dos RSU no Estado de Minas Gerais em 2015, publicado em 2016, contendo os dados coletados até o fim do ano anterior.

Deste universo, foram extraídos os dados da amostra correspondentes à área de atuação da 17ª Cia PM Ind MAT. Em seguida, ao longo dos meses de abril e maio de 2017, o levantamento de campo foi realizado por intermédio dos comandantes de fração do policiamento de meio ambiente da Unidade que responderam a questionários estruturados acerca da gestão de resíduos sólidos nos municípios de suas circunscrições, por meio do aplicativo Google forms®.

Para tanto, os policiais militares visitaram os locais de disposição final dos RSU, quando localizados no próprio município, e entrevistaram os gestores públicos municipais diretamente responsáveis pelo gerenciamento do tema em cada cidade.

Os dados do levantamento de campo foram compilados e tratados utilizando o software Microsoft Excel®. De posse desses dados, foi feito um comparativo entre as informações disponibilizadas pela FEAM e as que foram prestadas pelos policiais militares de meio ambiente, no que se refere à disposição final dos rejeitos, considerando a avaliação *in loco* dos métodos utilizados pelos municípios. Além disso, também foram avaliadas as respostas dos gestores públicos entrevistados quanto às ações de redução, reciclagem e destinação correta de resíduos, fomentadas pelo poder público municipal, considerando-se apenas a resposta positiva ou negativa em relação ao tema, sem análise da eficiência e eficácia das iniciativas apontadas nos casos afirmativos.

Resultados e discussão

É preciso destacar, inicialmente, que esta pesquisa permitiu maior fidelidade dos dados coletados, visto que as visitas *in loco*, realizadas pelos policiais de meio ambiente possibilitaram uma melhor interação entre o entrevistador e o gestor municipal responsável pelas informações prestadas. Além disso, também foram coletadas e compiladas as informações, até então desconhecidas, sobre os municípios que enviam os resíduos para localidades situadas em outros estados da federação.

A análise das informações produzidas foi subdividida nos seguintes tópicos: redução da geração, reciclagem e destinação adequada de resíduos; planos de gestão integrada de resíduos sólidos; disposição final de rejeitos e consórcios públicos, observando os objetivos traçados pela PNRS.

Redução da geração, reciclagem e destinação adequada de resíduos

A Lei n. 12.305/2010 reconheceu a distinção técnica entre resíduos e rejeitos, conceituando rejeitos como os resíduos que não apresentam mais qualquer possibilidade de tratamento ou reaproveitamento e resíduos como os materiais resultantes de atividades humanas e que, embora tenham sido descartados, ainda podem ser reaproveitados ou reutilizados sob variadas formas e meios (BRASIL, 2010).

Por este motivo, todos os atores envolvidos na gestão de RSU devem ter em mente que a disposição final dos rejeitos, mesmo quando feita de maneira ambientalmente adequada, deve ser percebida como medida extrema, adotando-se todos os meios disponíveis para não geração e

reaproveitamento dos resíduos. As informações produzidas a este respeito durante a pesquisa de campo levaram em consideração as respostas apresentadas pelos gestores públicos entrevistados e estão estruturadas na Tabela 1:

Tabela 1. Ações do poder público na geração, reciclagem e destinação de RSU

Questões formuladas	Sim	Freq.	Não	Freq.
Há programas de coleta seletiva em funcionamento no município?	26	36,1%	46	63,9%
Há ações/projetos de reciclagem apoiados/fomentados pelo poder público?	28	38,9%	44	61,1%
Há programas de educação/conscientização da população urbana sobre a destinação correta dos resíduos gerados?	28	38,9%	44	61,1%
Há programas de educação fomentados pelo poder público voltados para redução da geração de resíduos?	20	27,8%	52	72,2%

Fonte: Elaboração própria (2017).

Na amostra pesquisada, a grande maioria dos municípios não dispõe de ações perenes e efetivas voltadas para a redução, reutilização e reciclagem dos RSU gerados. Em 61,1% dos casos, o município não realiza por conta própria a separação e encaminhamento dos resíduos para reciclagem, nem mesmo apoia ou fomenta iniciativas independentes de cooperativas de catadores ou empresas privadas que busquem fazê-lo.

Além disso, 63,9% das cidades não mantêm programas de coleta seletiva em funcionamento e 61,1% não adotam ações de educação e conscientização da população para separação adequada dos resíduos domésticos e comerciais gerados.

Esse número sobe para 72,2% quando se trata dos municípios que não adotam qualquer programa de educação destinado a conscientizar as pessoas sobre a necessidade de reduzir a geração de RSU, evitando o desperdício de recursos e garantindo a diminuição do volume de rejeitos a serem definitivamente descartados.

Mesmo nos casos de respostas positivas, quando questionados sobre quais os programas de coleta seletiva e ações de fomento à educação e conscientização da população sobre o tema, os exemplos práticos citados pelos entrevistados se limitaram a indicar a existência de ações isoladas de panfletagem, custeio esporádico de recursos logísticos para associações de catadores e atividades educativas realizadas exclusivamente no ambiente escolar.

Comparando os dados coletados na presente pesquisa com os resultados da pesquisa CICLOSOFT 2016, realizada pelo Compromisso Empresarial para Reciclagem (CEMPRE), observa-se uma discrepância, a pesquisa CICLOSOFT indica que apenas 1.055 (18%) municípios brasileiros mantinham programas de coleta seletiva ativos em 2014/2015.

Deste número, 14 municípios pertencem à amostra pesquisada, representando 53,5% da população urbana atendida pela 17ª Cia PM Ind MAT, número inferior ao total de 26 municípios que responderam positivamente ao questionamento feito pelos comandantes de fração do policiamento de meio ambiente sobre a existência de programas de coleta seletiva.

Considerando que, segundo CEMPRE (2016), a metodologia da pesquisa CICLOSOFT consiste no levantamento de dados por meio do envio de questionário às Prefeituras e visitas técnicas, tal qual o método empregado no presente trabalho, nota-se que as percepções acerca do tema divergem de acordo com o ponto de vista do entrevistado e com os interesses circunstanciais.

Tais resultados evidenciam, de todo modo, as deficiências do poder público na consecução de suas obrigações previstas pela PNRS. Em grande parte dos municípios pesquisados, as motivações para esse cenário são similares e abarcam, segundo FEAM (2016), a reduzida disponibilidade de veículos e trabalhadores para a coleta seletiva; a falta de conscientização e colaboração da população; a ausência de recursos e capacitação de mão de obra, todos vinculados, em última análise, à gestão deficiente e à comunicação inadequada.

Planos de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PGIRS)

O Estado de Minas Gerais, por meio da Deliberação Normativa (DN) COPAM 170/2011, estabeleceu prazos para o cadastro dos PGIRS pelos municípios na FEAM. Os prazos foram definidos de acordo com as faixas populacionais dos municípios, sendo:

- I. população urbana maior que 50.000 habitantes: 30/07/2012 até 26/09/2012;
- II. população urbana entre 20.000 e 50.000 habitantes: 30/07/2013 até 26/09/2013;
- III. população urbana menor que 20.000 habitantes: 30/07/2014 até 26/09/2014 (COPAM, 2011).

Mesmo com a expiração dos prazos fixados, em seu último panorama anual de destinação de RSU, a FEAM (2016) informa que, dos 853 municípios do Estado, somente 146 realizaram o cadastro do PGIRS, representando 17% do total de municípios. Desses 146 cadastrados, 98 (11,5%) foram considerados efetivados e 48 (5,60%) ainda apresentam pendências.

Esta deficiência de instrumentos técnicos destinados à gestão adequada dos resíduos se repete, ainda que em menor percentual, nos municípios da amostra pesquisada, constatando que somente 27 (37,5%) deles dispõem de PGIRS, condição essencial para acesso a recursos públicos destinados à implementação da PNRS, conforme discorrido anteriormente.

Destes 27 municípios, apenas 9 (12,5%) informaram ter enviado seus planos para cadastro e validação da FEAM. Outros 10 (13,9%) disseram que não os remeteram e, ainda mais preocupante, 8 (11,1%) municípios não sabem se os planos foram remetidos, revelando as dificuldades e óbices existentes na administração pública quando das substituições periódicas dos servidores responsáveis pela gestão dos mais diversos temas.

A inexistência dos PGIRS e o desconhecimento técnico impedem o acesso a importantes recursos financeiros anualmente alocados nos orçamentos públicos da União e do Estado de Minas Gerais e que poderiam ser captados por esses municípios para aplicação em diversas ações de implementação da PNRS, como o ICMS ecológico.

Essas informações indicam como é recorrente a descontinuidade das ações adotadas pelo poder público para gestão adequada dos resíduos sólidos gerados em cada município. Não há sequência de atividades nem transferência de informações e conhecimento entre uma e outra equipe de governo, quando essas se alternam.

Além disso, em muitos casos, os gerentes escolhidos para temas com especificidades técnicas relevantes, tais como a gestão de RSU, não detêm conhecimento e experiência suficientes para gerir adequadamente suas pastas, atuando muito mais como agentes políticos e eleitorais do que como gestores de suas respectivas áreas de atuação pública.

Disposição final de rejeitos e consórcios públicos

A PNRS fixou o período de quatro anos para que todos os municípios passassem a realizar a disposição final dos rejeitos de maneira ambientalmente adequada. Contado desde a publicação da norma, o prazo para que os lixões e outras formas inadequadas de disposição fossem desativadas encerrou-se em 2 de agosto de 2014.

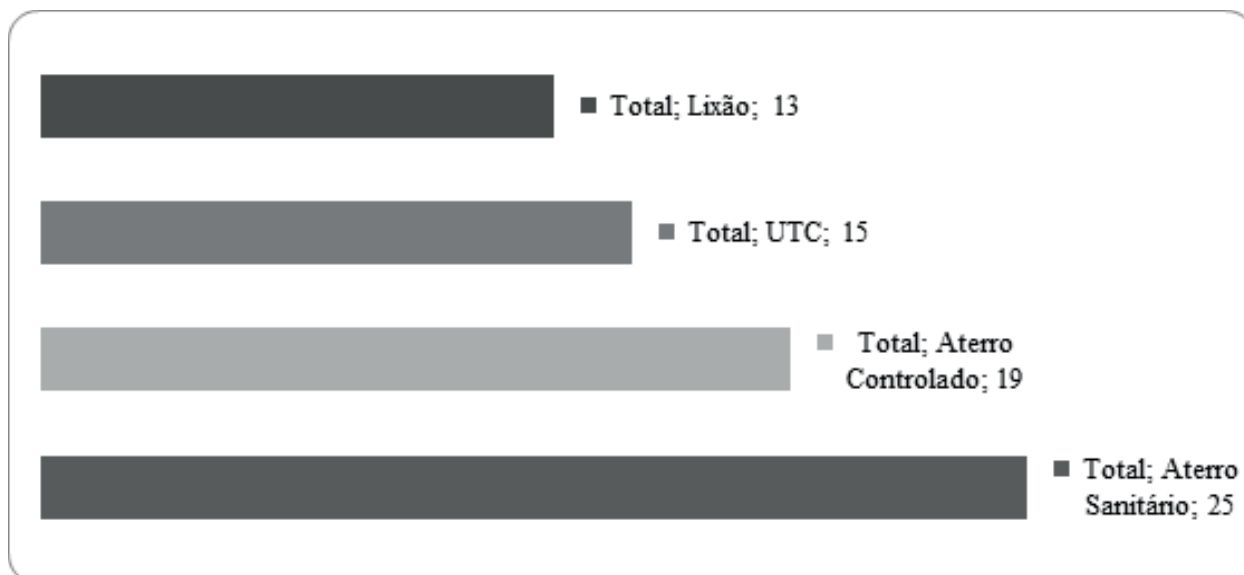
Além disso, o que a lei previa é que após essa data os materiais passíveis de reaproveitamento, reciclagem ou tratamento por tecnologias economicamente viáveis (como resíduos recicláveis ou orgânicos) não poderiam mais ser encaminhados para a disposição final (BRASIL, 2010).

Mesmo assim, ainda há diversas localidades em que a disposição é feita de maneira irregular e ambientalmente inadequada. O projeto de lei n. 2.289/2015, que propõe prorrogar os prazos fixados pela PNRS, continua tramitando no Congresso Nacional até esta data, comprometendo as bases e os princípios arduamente estabelecidos quando da aprovação da lei (BRASIL, 2015).

Muito embora a PNRS determine apenas a disposição final de rejeitos, a ausência de programas de coleta seletiva e de ações de tratamento e a reciclagem de resíduos na maior parte dos municípios pesquisados indica que, quando se trata deste tema, estamos diante da disposição final de todos os RSU coletados pela municipalidade, motivo pelo qual a pesquisa irá se referir neste tópico à disposição de RSU.

Para fins de classificação e interpretação dos dados colhidos, as formas de disposição final de RSU praticadas pelos municípios foram determinadas conforme a definição utilizada pela FEAM em Minas Gerais. Baseada nesses critérios, a pesquisa de campo produziu os seguintes dados expostos no Gráfico 1:

Gráfico 1. Disposição final de RSU pelos municípios da amostra



Fonte: Elaboração dos autores (2017).

Os municípios da amostra que dispõem seus RSU de forma ambientalmente adequada somaram 56%, distribuídos entre aterros sanitários (35%) e usinas de triagem e compostagem (21%). Os demais (44%) realizam a disposição final em condições inadequadas e danosas ao meio ambiente e à saúde pública.

No total, 40 municípios dispõem de maneira adequada seus RSU. Destes, 29 (72,5%) o fazem por meio de consórcios públicos, mecanismo de apoio mútuo adotado pela PNRS como alternativa viável à minimização das dificuldades enfrentadas pelos pequenos municípios na gestão de RSU (FEAM, 2014).

A gestão de RSU tem se mostrado uma alternativa viável, tendo em vista o ganho potencial de sustentabilidade técnica desse tipo de solução, principalmente para os municípios de menor porte. Por esta razão, as políticas nacional e estadual de gestão de resíduos sólidos buscam, por meio de benefícios tributários e facilidades no acesso a recursos orçamentários, estimular a criação desses consórcios.

Os dados produzidos indicam que, na área de atuação da 17ª Cia PM Ind MAT, os consórcios têm sido a opção escolhida pela maior parte dos municípios empenhados em atender às recomendações da PNRS, garantindo que a disposição final de RSU ocorra em condições técnico-financeiras compatíveis com a realidade local.

A associação em convênios destinados à resolução de problemas comuns reduz os custos operacionais e garante maior disponibilidade de técnicos qualificados para a gerência das atividades previstas pela PNRS. Tal medida precisa ser expandida e aperfeiçoada para alcançar todas as regras e mecanismos de gestão estatuídos pela lei.

Como se percebe, diferentemente dos demais mecanismos propostos pela PNRS, quando se trata da disposição final de RSU, a maior parte dos municípios pesquisados adota práticas sustentáveis e ambientalmente adequadas. Neste sentido, a pesquisa também se propôs a comparar seus próprios resultados com o último panorama estadual divulgado pela FEAM. Para tanto, a Tabela 2 apresenta os dados comparados:

Tabela 2. Comparativo das informações disponíveis sobre a disposição final de RSU

Município	Dados FEAM 2016	Dados pesquisa (2017)	Local de disposição/destinação final
Aiuruoca	Lixão	UTC	Seritinga
Alagoa	Aterro controlado	UTC	
Albertina	Lixão	Aterro sanitário	Andradas
Baependi	Aterro controlado	Aterro controlado	
Bocaina de Minas	Aterro sanitário	UTC	
Bom Repouso	Lixão	Lixão	
Borda da Mata	Aterro controlado	Aterro sanitário	Pouso Alegre
Brasópolis	Aterro sanitário	Aterro sanitário	Itajubá
Bueno Brandão	Aterro controlado	Aterro controlado	
Cachoeira de Minas	Aterro sanitário	Aterro sanitário	Itajubá
Camanducaia	Aterro sanitário	Aterro sanitário	Pouso Alegre
Cambuí	Aterro controlado	Aterro controlado	
Careaçu	Fora do estado	Aterro sanitário	Pouso Alegre
Carmo de Minas	Lixão	Lixão	

Município	Dados FEAM 2016	Dados pesquisa (2017)	Local de destinação/ disposição final
Carvalhos	Fora do estado	UTC	
Caxambu	Lixão	Aterro controlado	
Conceição das Pedras	Aterro controlado	Aterro controlado	
Conceição dos Ouros	Aterro controlado	Aterro sanitário	Pouso Alegre
Congonhal	Aterro controlado	Aterro sanitário	Pouso Alegre
Consolação	Aterro controlado	Aterro controlado	
Cordislândia	Aterro controlado	Lixão	
Córrego do Bom Jesus	UTC	Aterro sanitário	Pouso Alegre
Cristina	Aterro controlado	Aterro controlado	
Cruzília	Fora do estado	Aterro sanitário	
Delfim Moreira	Aterro sanitário	Aterro sanitário	Itajubá
Dom Viçoso	Aterro controlado	Aterro controlado	
Espírito Santo do Dourado	Aterro controlado	Aterro controlado	
Estiva	Lixão	Lixão	
Extrema	Aterro sanitário	Aterro sanitário	
Gonçalves	UTC	UTC	Paraisópolis
Heliódora	Lixão	Lixão	
Inconfidentes	Lixão	Lixão	
Itajubá	Aterro sanitário	Aterro sanitário	Itajubá
Itamonte	Aterro sanitário + UTC	UTC	
Itanhandu	UTC	Aterro controlado	
Itapeva	Aterro controlado	UTC	Pouso Alegre
Jacutinga	Lixão	Lixão	
Liberdade	Aterro controlado	UTC	
Maria da Fé	Aterro sanitário	Aterro sanitário	Itajubá
Marmelópolis	Aterro sanitário	Aterro sanitário	Itajubá
Minduri	Fora do estado	Aterro controlado	
Monte Sião	Lixão	Aterro controlado	
Munhoz	Aterro controlado	Aterro controlado	
Natércia	Lixão	UTC	Pouso Alegre
Ouro Fino	Lixão	Aterro controlado	
Paraisópolis	UTC	UTC	Paraisópolis
Passa Quatro	Fora do estado	Aterro sanitário	Cachoeira Paulista/SP
Passa Vinte	Fora do estado	Aterro sanitário	
Pedralva	UTC	UTC	
Piranguçu	Aterro sanitário	Aterro sanitário	Itajubá
Piranguinho	Aterro sanitário	Aterro sanitário	Itajubá
Pouso Alegre	Aterro sanitário	Aterro sanitário	Pouso Alegre
Pouso Alto	Lixão	Lixão	
Santa Rita do Sapucaí	Aterro controlado	Aterro sanitário	Itajubá
São Gonçalo do Sapucaí	Lixão	Lixão	

Município	Dados FEAM 2016	Dados pesquisa (2017)	Local de destinação/ disposição final
São João da Mata	Lixão	Lixão	
São José do Alegre	Aterro sanitário	Aterro sanitário	Itajubá
São Lourenço	Lixão	Lixão	
São Sebastião da Bela Vista	Aterro controlado	Aterro sanitário	Pouso Alegre
São Sebastião do Rio Verde	UTC	Aterro controlado	
Sapucai Mirim	Fora do estado	Aterro sanitário	Tremembé/SP
Senador Amaral	Lixão	Lixão	
Senador José Bento	Aterro controlado	Aterro controlado	
Seritinga	Lixão	UTC	Seritinga
Serranos	Aterro controlado	UTC	Seritinga
Silvianópolis	UTC	UTC	
Soledade de Minas	Aterro controlado	Aterro controlado	
Tocos do Mogi	Lixão	Aterro sanitário	Pouso Alegre
Toledo	Aterro controlado	Aterro controlado	
Turvolândia	UTC	UTC	
Virgínia	Aterro controlado	Lixão	
Wenceslau Brás	Aterro sanitário	Aterro sanitário	Itajubá

Fonte: Elaboração própria, com dados da FEAM (2016).

Segundo os dados disponibilizados pela FEAM, em 2015, somente 23 (32%) dos 72 municípios da área de abrangência da 17ª Cia PM Ind MAT realizavam a disposição dos RSU de maneira adequada. Naquela ocasião, os demais municípios o faziam em lixões e aterros controlados ou os enviavam para fora do estado, não havendo informações a respeito do método de disposição empregado nesses casos.

A presente pesquisa mostrou que este panorama se modificou ao longo do tempo e, atualmente, 40 (56%) municípios da amostra dispõem seus RSU de modo ambientalmente correto. Entretanto é importante destacar que o aperfeiçoamento das formas de disposição final, quando não adotado de forma conjunta com os demais instrumentos da PNRS, pouco contribui para os avanços em relação ao tratamento de RSU. A pesquisa demonstra que este é o caso da maior parte dos municípios avaliados, que não promovem nem estimulam quaisquer iniciativas de redução da geração, de reciclagem e de reaproveitamento.

Ainda neste sentido, a pesquisa também indicou que 59,8% da população urbana na área de atuação da 17ª Cia PM Ind MAT é atendida por métodos de disposição final ambientalmente adequados para os RSU gerados. Os dados demonstram uma situação muito semelhante àquela identificada no restante do Estado de Minas Gerais, onde, segundo FEAM (2016), 57,7% das pessoas residentes em centros urbanos são atendidas da mesma forma.

Conclusão

A presente pesquisa objetivou analisar as condições da gestão de RSU nos municípios componentes da área de atuação da 17ª Cia PM Ind MAT, além de verificar a veracidade das informações prestadas à FEAM e o estágio atual da elaboração dos planos de gestão integrada de resíduos sólidos nesses municípios.

Apesar da melhoria identificada nos métodos de disposição final, é preciso reconhecer que a previsão da PNRS sobre o tema não tem sido atendida, uma vez que para dispor somente rejeitos de maneira ambientalmente adequada, o município deve possuir um bom sistema de gerenciamento de resíduos sólidos, incluindo coleta seletiva e tratamento de resíduos orgânicos, de forma a enviar o menor volume possível para o aterro sanitário.

Além disso, as medidas de inclusão social e promoção de cidadania por meio do fomento a cooperativas de catadores de resíduos recicláveis são práticas não aplicadas ou de continuidade limitada nos municípios pesquisados, nos quais a maioria dos gestores indicou não haver ações ou projetos de reciclagem apoiados ou fomentados pelo poder público.

No decorrer do trabalho ficou também constatado que os dados disponibilizados pelo estado de Minas Gerais não coincidem, em sua totalidade, com a realidade situacional observada nos municípios da amostra pesquisada. Conforme se apurou, foram três os motivos determinantes dessa discrepância: a) o tempo decorrido desde o último levantamento realizado pela FEAM, visto que a mais recente consulta pública disponível refere-se às informações coletadas no ano de 2015; b) informações inverídicas prestadas pelos entes municipais; c) divergências de interpretação entre o ente municipal e a polícia de meio ambiente quanto à eficácia e efetividade das ações implementadas para atendimento aos princípios da PNRS.

Por fim, destaca-se que esta realidade indica que o tema não é tratado com a prioridade que merece. Além disso, são poucas as chances de que a situação melhore em um horizonte próximo, visto que os programas de educação e conscientização da população são inexistentes nos municípios da amostra. A reversão desse quadro depende do envolvimento efetivo dos diversos entes e instâncias responsáveis pela eficiência dos processos e pela eficácia da gestão de RSU.

Management of urban solid waste in municipalities monitored by the 17th Cia PM Ind MAT

Abstract

Established by 12.305/2010 law, the National Solid Waste Policy (PNRS) created mechanisms and established the general guidelines for all public and private entities responsible for solid waste management to perform their activities in an integrated and complementary way. The municipalities, due to their constitutional responsibilities, oversaw most of the expected charges. With the objective of diagnosing the current situation of urban solid waste management in the 72 municipalities located in the area of activity of the 17th Independent Military Police Company for the Environment and Traffic (17ª Cia. PM Ind MAT), the research was carried out through structured questionnaires answered by military environmental police officers and municipal managers. The results indicate that, in most of them, the actions and instruments of the PNRS are not being applied and, in some of these

municipalities, final disposal of wastes, even after the legal deadlines, continues being carried out in an environmentally inadequate way.

Keywords: Environmental regulation. Inspection. Environmental police.

Referências

BATISTA, D. M. B.; SILVA, J. M. N.; SOUSA, E. F.; DO-Ó, L. G. D.; BARBOSA, E. A. O uso do método da listagem de controle na identificação de impactos ambientais: o caso do lixão de uma cidade de médio porte. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 30., 2010. São Carlos-SP. **Anais...** São Carlos, 2010. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2010_tn_stp_121_785_15703.pdf. Acesso em: 21 nov. 2017.

BEZERRA, F. C. B.; BEZERRA, A. K. L. Política Nacional de Resíduos Sólidos e as dificuldades de municípios pequenos. **Revista Jus Navigandi**, Teresina, ano 20, n. 4508, 4 nov. 2015. Disponível em: <https://jus.com.br/artigos/43851>. Acesso em: 3 abr. 2017.

BRASIL. **Constituição Federal da República Federativa do Brasil**: promulgada em 5 de outubro de 1988. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao.htm. Acesso em: 29 mar. 2017.

BRASIL. **Lei 12.305 de 02 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília: 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 29 mar. 2017.

BRASIL. Câmara dos Deputados. **Projeto de Lei PL nº 2289/2015**. Prorroga o prazo para a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos de que trata o art. 54 da Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Disponível em: <http://www.camara.gov.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=1555331>. Acesso em: 10 nov. 2017.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Sistema nacional de informações sobre a gestão de resíduos sólidos (SINIR)**. Disponível em: <http://sinir.gov.br/web/guest/2.5-planos-municipais-de-gestao-integrada-de-residuos-solidos>. Acesso em: 30 nov. 2017.

BRUSCHI, D. M. **Análise do programa Minas sem lixões: contribuição à gestão de resíduos sólidos urbanos em Minas Gerais, 2003 - 2010**. 331 f. Dissertação (Mestrado em Sustentabilidade) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2011. Disponível em: <http://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/2907>. Acesso em: 21 nov. 2017.

COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM (CEMPRE). **Pesquisa CICLOSOFT 2016**: radiografando a coleta seletiva. Disponível em: <http://cempre.org.br/ciclosoft/id/8>. Acesso em: 10 nov. 2017.

CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL (COPAM). **Deliberação Normativa COPAM 170, de 03 de outubro de 2011**. Belo Horizonte: FEAM, 2011. p. 1-2.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (FEAM). **Diagnóstico de Consórcios Intermunicipais para a Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos em Minas Gerais**. Belo Horizonte: FEAM, 2014. p. 12-43.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (FEAM). **Panorama da destinação dos resíduos sólidos urbanos no Estado de Minas Gerais em 2015**. Belo Horizonte: FEAM, 2016. p. 42-68.

FLECK, E. A elaboração dos planos de gestão integrada de resíduos sólidos em grandes cidades: o caso de Porto Alegre, RS. In: AMARO, A. B.; VERDUM, R. (orgs.). **Política Nacional de Resíduos Sólidos e suas interfaces com o espaço geográfico**: entre conquistas e desafios. Porto Alegre: Editora Letra 1, 2016. p. 71-80.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Demográfico 2010**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010.shtm>. Acesso em: 20 abr. 2017.

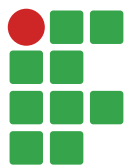
MINAS GERAIS. Polícia Militar. **Diretriz para Produção de Serviços de Segurança Pública nº 3.01.01/2016-CG**: regula o emprego operacional da Polícia Militar de Minas Gerais. Belo Horizonte: 2016. p. 56-71.

MONTEROSSO, E. P. Política nacional de resíduos sólidos: o olhar crítico de um gestor público. In: AMARO, A. B.; VERDUM, R. (Orgs.). **Política Nacional de Resíduos Sólidos e suas interfaces com o espaço geográfico**: entre conquistas e desafios. Porto Alegre: Editora Letra1, 2016. p. 22-30.

Histórico editorial

Submetido em: 15/12/2017

Aceito em: 15/03/2018



Adubação de plantio com NPK para a cultura do *Physalis* (*Physalis peruviana* L.)

César Ferreira Santos¹

Geann Costa Dias²

Sheila Isabel do Carmo Pinto³

Paulino da Cunha Leite⁴

Konrad Passos e Silva⁵

Resumo

A espécie *Physalis peruviana* L., família Solanaceae, é uma planta arbustiva de origem andina que produz frutos açucarados. Por ser uma espécie de cultivo recente, aspectos relacionados à sua adubação devem ser estudados. Neste sentido, o presente trabalho teve por objetivo definir a dose de NPK na adubação de plantio que atenda às exigências da cultura. O presente trabalho foi conduzido no Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG), *Campus* Bambuí, em casa de vegetação no período de 25 de fevereiro a 23 de novembro de 2015. O experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado, com 8 tratamentos e 6 repetições, totalizando 48 unidades experimentais. Os tratamentos consistiram em doses de N, P₂O₅ e K₂O (kg ha⁻¹), utilizando como fontes ureia (45% de N), monoamônio fosfato (9% de N e 44% de P₂O₅) e cloreto de potássio (58% de K₂O). Foram avaliadas características morfológicas, bromatológicas e produção de frutos. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias agrupadas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. A dose de NPK que propicia maior produção de frutos e maior economia são 1.200 mg dm⁻³ de N, 3.600 mg dm⁻³ de P₂O₅ e 2.400 mg dm⁻³ de K₂O e sobre o desenvolvimento morfológico 1.600 mg dm⁻³ de N, 4.800 mg dm⁻³ de P₂O₅ e 3.200 mg dm⁻³ de K₂O.

Palavras-chave: Nutrição mineral de plantas. Fertilidade do solo. Produção.

Introdução

A espécie *Physalis peruviana* L., pertencente à família Solanaceae, é a mais conhecida deste gênero. O centro de origem da espécie ainda não é conhecido, mas a maioria dos estudos indica que seja nos Andes (RUFATO et al., 2008). A espécie caracteriza-se por ser uma planta arbustiva, perene, com um fruto alaranjado pequeno, encerrado em um cálice formado por cinco sépalas que a protege contra insetos, pássaros, patógenos e condições climáticas adversas.

Para atingir melhor desenvolvimento e produtividade, a planta deve ter suas exigências nutricionais atendidas. Segundo Fischer et al. (2005), o ideal para a *Physalis* é o solo areno-argiloso,

1 Universidade Federal de Lavras (UFLA), doutorando em Ciência do Solo, agronomocesar.santos@gmail.com, Departamento de Ciência do Solo, Caixa Postal 3037, Lavras/MG, Brasil, CEP: 37200-000.

2 Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG) - Campus Bambuí, graduado em Agronomia, geannndias93@hotmail.com.

3 IFMG - *Campus* Bambuí, professora EBTT, sheila.isabel@ifmg.edu.br.

4 IFMG - *Campus* Bambuí, professor EBTT, paulino.leite@ifmg.edu.br.

5 IFMG - *Campus* Bambuí, técnico em Agropecuária, konrad.silva@ifmg.edu.br.

bem drenado, que apresenta textura mais granulada, preferencialmente, com altos teores de matéria orgânica (maior que 4%) e pH entre 5,5 e 6,8.

Por ser um cultivo considerado recente, a maioria dos aspectos do sistema de produção desta cultura ainda necessitam serem estudados e desenvolvidos, principalmente os relacionados à adubação (RUFATO et al., 2008). A cultura do *Physalis* ainda não possui uma recomendação de adubação de acordo com suas exigências nutricionais.

Os trabalhos disponíveis na literatura sobre o manejo da cultura foram desenvolvidos utilizando adubações recomendadas para diversas espécies da família Solanaceae pela falta de adubação específica para a cultura. No sul do Brasil, a adubação utilizada para o *Physalis* é a recomendada para a cultura do tomateiro (IANCKIEVICZ et al, 2013; LIMA, 2009). As recomendações para esta cultura se tornam muito regionais, não servindo de base para aplicação em todo país, podendo gerar resultados insatisfatórios em termos nutricionais, acabando por gerar produtividades reduzidas e frutos de menor -qualidade.

Entre os macronutrientes, o nitrogênio é considerado o mais importante para a cultura do *Physalis* por promover o crescimento longitudinal dos ramos e a produção de frutos. O potássio está relacionado com a floração e a formação dos frutos. O cálcio é muito importante na formação dos tecidos e na estabilidade da epiderme, especialmente na formação do cálice. Entre os micronutrientes, o boro é o mais exigido no cultivo do *Physalis* (RUFATO et al., 2012).

Devido à ausência de informações na literatura e à pouca divulgação dos trabalhos existentes, torna-se comum a recomendação de fertilizantes sem critérios. Na Colômbia, por exemplo, é recomendada a aplicação de 1,0 a 2,0 kg de cama de aviário no plantio e de 100,0 a 150,0 kg de adubo 10-30-10 ou superfosfato triplo por hectare a cada 3 ou 4 meses (RUFATO et al., 2012).

Neste contexto, o objetivo do presente trabalho foi identificar a dose de NPK que atenda às exigências nutricionais da cultura do *Physalis*, proporcionando melhor desenvolvimento morfológico e maior produtividade.

Material e métodos

Localização da área experimental

O presente trabalho foi conduzido na Fazenda Varginha, Km 05, Rodovia Bambuí-Medeiros, no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG) – Campus Bambuí (Latitude 20° 01'51.9" Sul, Longitude 46° 00' 26.66" Oeste e altitude 673 m), no setor de viveiricultura, em casa de vegetação constantemente ventilada, com nebulização intermitente, em frequência de irrigação de 7 minutos com duração de 7h30 as 17h30, com temperatura mantida entre 15 e 38° C e umidade relativa entre 80 e 90% durante o enraizamento. Após o transplante, a temperatura foi a mesma e a umidade relativa em torno de 70-80%.

A semeadura foi realizada em substrato comercial Bioplant® em bandeja de isopor de 200 células. As sementes iniciaram a emergência 8 dias após o plantio e apresentaram 90% de germinação. As plântulas foram cultivadas em bandejas até apresentarem um bom desenvolvimento para que pudessem ser transplantadas, sendo o transplante realizado aos 70 dias após a semeadura.

Para o transplante das mudas foi utilizado um solo coletado em subsuperfície classificado como Latossolo Vermelho Distroférrico, textura argilosa (EMPRESA BRASILEIRA

DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMPRAPA, 2013), o qual foi submetido à análise química. A caracterização química do solo utilizado encontra-se na Tabela 1.

Tabela 1. Características químicas e físicas do solo utilizado para o transplântio das mudas do *Physalis peruviana* L.

Variável	
pH (H ₂ O)	5,1
P ⁽¹⁾	1,4 mg dm ⁻³
K ⁽¹⁾	47,0 mg dm ⁻³
Ca ⁽²⁾	0,58 cmol _c dm ⁻³
Mg ⁽²⁾	0,49 cmol _c dm ⁻³
Al ⁽²⁾	2,50 cmol _c dm ⁻³
H + Al ⁽³⁾	7,07 cmol _c dm ⁻³
SB	1,2 cmol _c dm ⁻³
t	3,7 cmol _c dm ⁻³
T	14,4 cmol _c dm ⁻³
Areia	16 dag kg ⁻¹
Silte	37,5 dag kg ⁻¹
Argila	46,5 dag kg ⁻¹
V	14,4 %
m	67,8 %
M.O	0,10 dag kg ⁻¹
P (rem)	1,9 mg L ⁻¹
B ⁽⁴⁾	0,03 mg dm ⁻³
Cu ⁽¹⁾	0,30 mg dm ⁻³
Fe ⁽¹⁾	17,70 mg dm ⁻³
Mn ⁽¹⁾	2,60 mg dm ⁻³
Zn ⁽¹⁾	0,10 mg dm ⁻³
S ⁽⁵⁾	3,13 mg dm ⁻³

⁽¹⁾ P-K-Fe-Zn-Mn-Cu – Extrator Mehlich; ⁽²⁾Ca-Mg-Al – Extrator KCl -1 mol.L; ⁽³⁾H+Al – Extrator SMP; ⁽⁴⁾B – Extrator água quente; ⁽⁵⁾S – Extrator Fosfato monocálcico em ácido acético; **SB** = Soma de Bases Trocáveis; **CTC (t)** = Capacidade de Troca Catiônica Efetiva; **CTC (T)** = Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0; **%V** = Índice de Saturação de Bases; **m** = Saturação de Alumínio; **MO** = matéria orgânica (Oxidação Na₂Cr₂O₇ 4N+H₂SO₄ 10N); **P (rem)** = Fósforo Remanescente.

Fonte: Elaboração dos autores (2016).

Cerca de 90 dias antes do transplântio, o solo foi submetido à correção por meio da aplicação de 7500 mg dm⁻³ de calcário dolomítico, visando elevar a saturação de bases do solo a 70%.

Após a aplicação do calcário, o solo foi incubado por 90 dias, mantendo a umidade a 70% da capacidade de campo. O transplântio das mudas de *Physalis* foi realizado 70 dias após semeadura. Inicialmente o solo corrigido foi colocado em uma bandeja de plástico e misturado com a quantidade de fertilizante determinada para cada tratamento, homogeneizado e transferido para os vasos. O vaso plástico foi revestido com dois sacos plásticos, com a finalidade de evitar perda dos nutrientes. Posteriormente, as mudas foram transplantadas para os vasos, deixando uma muda por vaso. A irrigação foi realizada mantendo 70 % da capacidade de campo.

Quando as plantas atingiram a altura de 40 cm, elas foram tutoradas utilizando fitilho, visando proporcionar um melhor desenvolvimento. Durante o período de condução do experimento, o controle de plantas invasoras nos vasos foi realizado por meio de capinas manuais. Os fertilizantes utilizados foram: ureia (45% de N), monoamônio fosfato (MAP) (9% de N e 44% de P_2O_5) e cloreto de potássio (58% de K_2O), as doses estão descritas na Tabela 2.

Tabela 2. Caracterização dos tratamentos experimentais quanto às doses de NPK utilizadas no plantio do *Physalis peruviana* L.

Tratamento	N	P_2O_5	K_2O
	----- mg dm ⁻³ -----		
T1	400	800	640
T2	600	1200	960
T3	480	2400	800
T4	800	2400	1600
T5	1200	3600	2400
T6	760	1680	1400
T7	1600	4800	3200
T8	0	0	0

T1: 400 mg dm⁻³ de N, 800 mg dm⁻³ de P_2O_5 , 640 mg dm⁻³ de K_2O ; T2: 600 mg dm⁻³ de N, 1200 mg dm⁻³ de P_2O_5 , 960 mg dm⁻³ de K_2O ; T3: 480 mg dm⁻³ de N, 2400 mg dm⁻³ de P_2O_5 , 800 mg dm⁻³ de K_2O ; T4: 800 mg dm⁻³ de N, 2400 mg dm⁻³ de P_2O_5 , 1600 mg dm⁻³ de K_2O ; T5: 1200 mg dm⁻³ de N, 3600 mg dm⁻³ de P_2O_5 , 2400 mg dm⁻³ de K_2O ; T6: 760 mg dm⁻³ de N, 1680 mg dm⁻³ de P_2O_5 , 1400 mg dm⁻³ de K_2O ; T7: 1600 mg dm⁻³ de N, 4800 mg dm⁻³ de P_2O_5 , 3200 mg dm⁻³ de K_2O ; T8: sem fertilização.

Fonte: Elaboração dos autores (2016).

Variáveis avaliadas

As plantas de *Physalis* foram avaliadas com o intuito de caracterizar a influência das doses de NPK sobre o desenvolvimento morfológico e a produtividade das plantas. As avaliações se iniciaram 90 dias após o transplante das mudas por meio da medição da altura e do diâmetro do colo das plantas. Essas avaliações foram realizadas a cada 15 dias. A altura foi determinada da superfície do solo ao ápice do ramo mais alto. O diâmetro do colo das plantas foi determinado rente à superfície do solo utilizando paquímetro digital.

Durante o período de condução do experimento, os frutos que atingiam o ponto máximo de maturação fisiológica eram colhidos, contabilizados, separados do cálice e posteriormente pesados em balança analítica para determinação do peso do cálice, do fruto e do peso total (fruto mais cálice). Também foi determinado o diâmetro dos frutos perpendicularmente ao pedúnculo utilizando paquímetro digital. Em seguida, os frutos foram armazenados sob refrigeração para a determinação do grau Brix por meio da utilização de refratômetro portátil para açúcar Instrutherm, modelo RT-30 ATC. Foram utilizados na determinação do grau brix os quatro maiores frutos, no ápice de maturação, por repetição, sendo transferidas duas gotas do caldo do fruto para o prisma do refratômetro.

Aos 198 dias após o transplante das mudas, estas foram cortadas rente ao solo e separadas em parte aérea e raízes. As raízes foram lavadas e secas em temperatura ambiente. Posteriormente, parte aérea e raízes foram acondicionadas em sacos de papel, secas em estufa a 70°C até obtenção de peso constante e pesada em balança analítica para obtenção da massa seca da parte aérea e de raízes. Também foi determinada a massa seca total (parte aérea mais raízes) e a relação entre a massa seca da parte aérea e a massa seca de raízes.

A produção total de frutos pelas plantas de *Physalis* foi determinada por meio da soma do peso de todos os frutos obtidos por cada repetição durante todo o período de condução do experimento.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias agrupadas pelo teste de Scott-Knott, com nível de 5% de probabilidade. As análises foram realizadas pelo programa computacional “Sistema para Análise de Variância” - SISVAR (FERREIRA, 2011).

Resultados e discussão

Em todas as avaliações, constatou-se efeito das doses de fertilizantes NPK sobre o desenvolvimento das plantas ($P < 0,05$), como pode ser observado na Tabela 3.

Tabela 3. Resumo da análise de variância para altura (cm) das plantas de *Physalis peruviana* L., em função da adubação de plantio com NPK, medidas quinzenalmente.

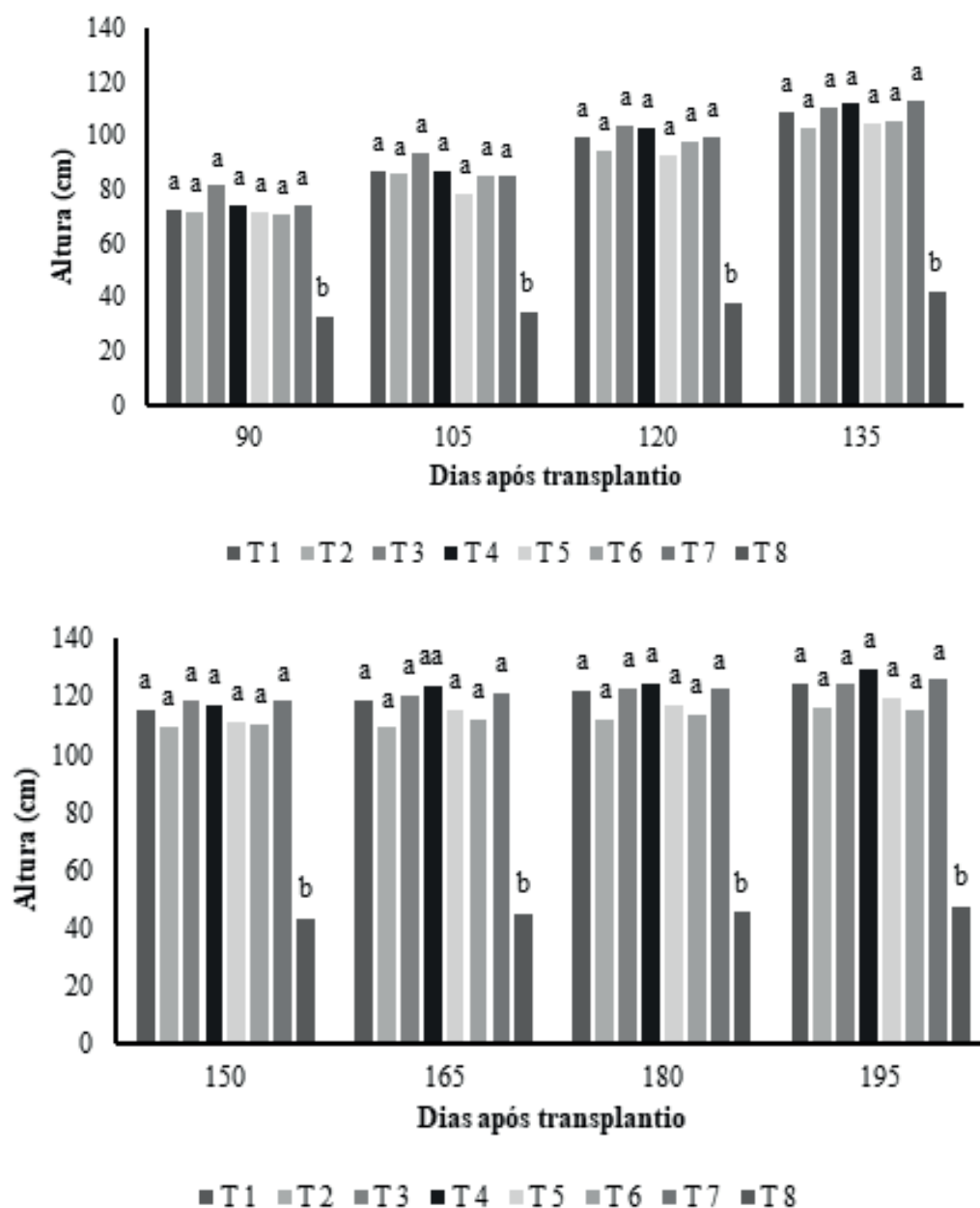
FV	90 dias	105 dias	120 dias	135 dias
Adubação NPK	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0000*
CV (%)	14,95	13,21	12,49	12,11
Média	68,56	79,46	90,89	99,89
FV	150 dias	165 dias	180 dias	195 dias
Adubação NPK	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0000*
CV (%)	13,66	13,35	14,56	14,55
Média	105,48	108,28	110,11	112,92

*: significativo pelo teste F, com 5% de probabilidade. FV: Fator de variação; CV: Coeficiente de variação.

Fonte: Elaboração dos autores (2016).

Independente do período de avaliação, somente as plantas de *Physalis* cultivadas sem adubação de plantio apresentaram menor desenvolvimento em altura (FIGURA 1). A altura das plantas que receberam doses de NPK não diferiu entre si, evidenciando que, em relação ao desenvolvimento vegetativo, esta espécie demonstra ser pouco exigente quanto à adubação, uma vez que mesmo as menores doses aplicadas (T1) foram capazes de promover crescimento em altura semelhante às maiores dosagens (T7) (FIGURA 1).

Figura 1. Crescimento de plantas de *Physalis peruviana* L., em função de doses variadas de NPK aplicadas no transplântio da cultura.



* Médias seguidas de letras semelhantes não diferem entre si, em cada dia de observação após o transplântio, pelo teste de Scott-Knott, com nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Elaboração dos autores (2016).

Briguenti e Madeira (2007) relataram altura entre 1,00 m e 1,50 m para plantas de *Physalis peruviana* submetidas a diferentes doses de fertilizantes. Os valores obtidos neste estudo foram próximos, permanecendo entre 1,29 m e 1,15 m, não sendo esses correspondentes a maior e menor dose, respectivamente, evidenciando que o aumento demasiado da dose pode reduzir o crescimento da planta.

Quanto ao diâmetro do colo das plantas de *Physalis*, independentemente das doses de fertilizantes aplicadas, foram observadas diferenças ($P < 0,05$) (TABELA 4).

Tabela 4. Resumo da análise de variância para o diâmetro do colo (mm) das plantas de *Physalis peruviana* L., em função da adubação de plantio com NPK, medidas quinzenalmente.

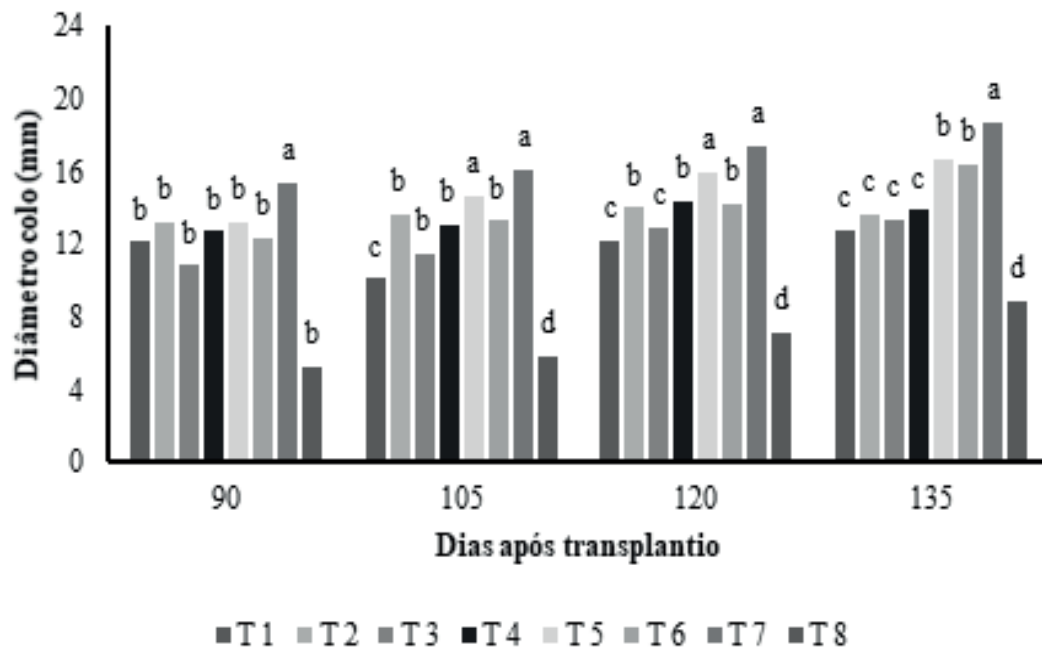
FV	90 dias	105 dias	120 dias	135 dias
Adubação NPK	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0000*
CV (%)	17,72	14,72	11,34	10,53
Média	11,88	12,27	13,53	14,29
FV	150 dias	165 dias	180 dias	195 dias
Adubação NPK	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0000*
CV (%)	10,76	9,19	8,96	8,64
Média	15,33	15,71	16,10	16,68

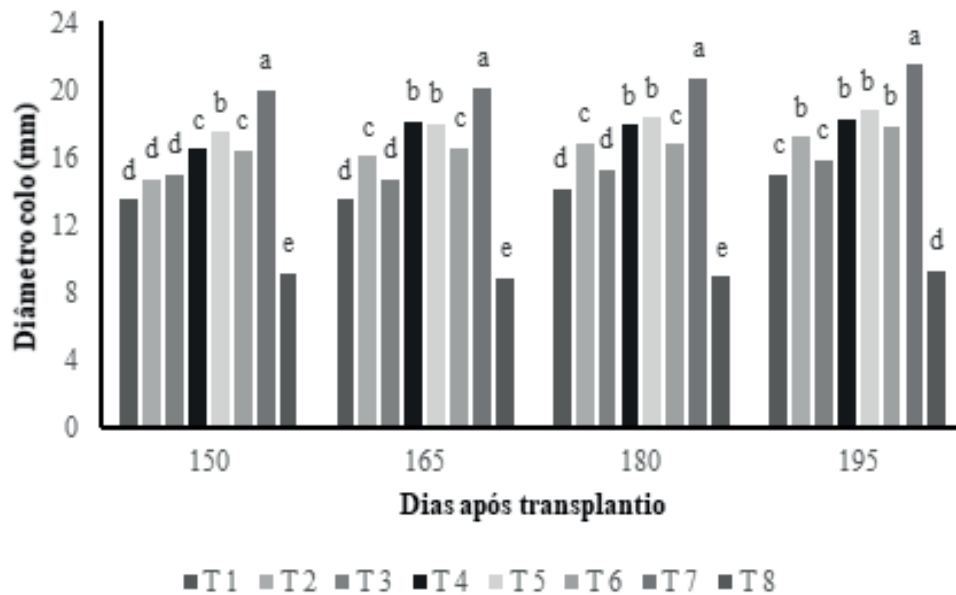
*: significativo pelo teste F, com 5% de probabilidade. FV: Fator de variação; CV: Coeficiente de variação.

Fonte: Elaboração dos autores (2016).

Na Figura 2 são apresentados os diâmetros do colo das plantas de *Physalis* em função da adubação de plantio com NPK.

Figura 2. Diâmetro do colo de plantas de *Physalis peruviana* L., em função de doses variadas de NPK aplicadas no transplântio da cultura.





* Médias seguidas de letras semelhantes não diferem entre si, em cada dia de observação após o transplante, pelo teste de Scott-Knott, com nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Elaboração dos autores (2016).

À exceção das avaliações realizadas aos 105 e 120 dias após o transplante das mudas em que o Tratamento 5 também apresentou plantas com maior diâmetro do colo, o Tratamento 7, independentemente do período de avaliação, destacou-se entre os demais, por proporcionar maior desenvolvimento do diâmetro do colo das plantas de *Physalis* (FIGURA 2). Portanto verifica-se que o diâmetro é uma variável muito responsiva à adubação, apresentando maior desenvolvimento nas plantas de *Physalis* que receberam maior dose de NPK (T7).

Nas avaliações de peso médio do cálice, do fruto e peso médio total, bem como das demais variáveis apresentadas anteriormente, houve diferenças em relação às doses testadas (TABELA 5).

Tabela 5. Resumo da análise de variância para as características peso médio do cálice (g), do fruto (g), peso médio total do fruto (cálice + fruto) (g) e diâmetro médio do fruto (mm) das plantas de *Physalis peruviana* L., em função da adubação de plantio com NPK

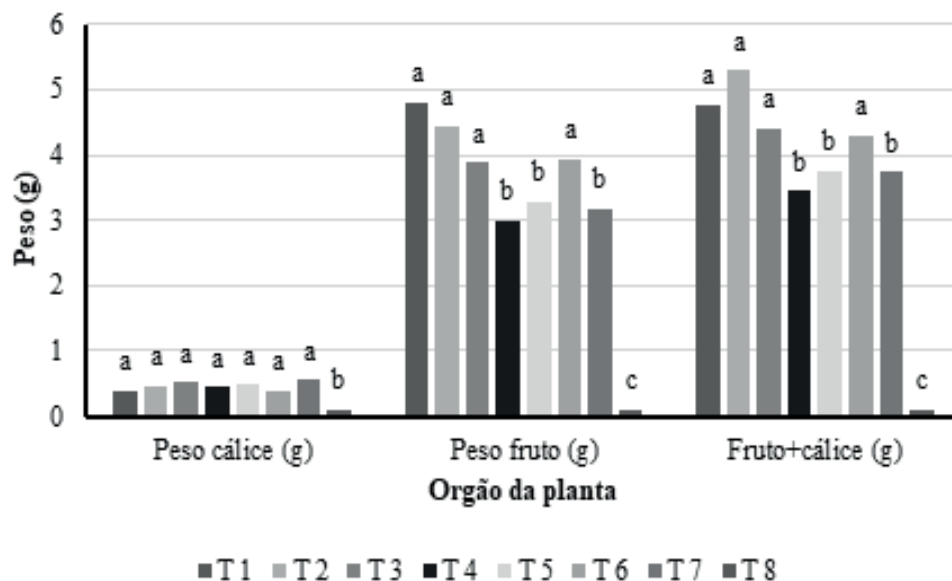
FV	Cálice	Fruto	Total	Diâmetro
Adubação NPK	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0000*
CV (%)	24,52	25,12	22,17	11,66
Média	0,40	3,31	3,71	15,38

*: significativo pelo teste F, com 5% de probabilidade. FV: Fator de variação; CV: Coeficiente de variação.

Fonte: Elaboração dos autores (2016).

Somente as plantas de *Physalis* cultivadas sem adubação de plantio apresentaram menor peso médio de cálice, mostrando que essa variável não é influenciada pela dose de fertilizante aplicada, pois as combinações entre N, P₂O₅ e K₂O não alteraram seu desenvolvimento, e a menor dose é suficiente para aumento no peso do cálice (FIGURA 3).

Figura 3. Peso do cálice, peso do fruto e peso do fruto e cálice de plantas de *Physalis peruviana* L., em função de doses variadas de NPK aplicadas no transplântio da cultura



* Médias seguidas de letras semelhantes não diferem entre si, em cada dia de observação após o transplântio, pelo teste de Scott-Knott, com nível de 5% de probabilidade.

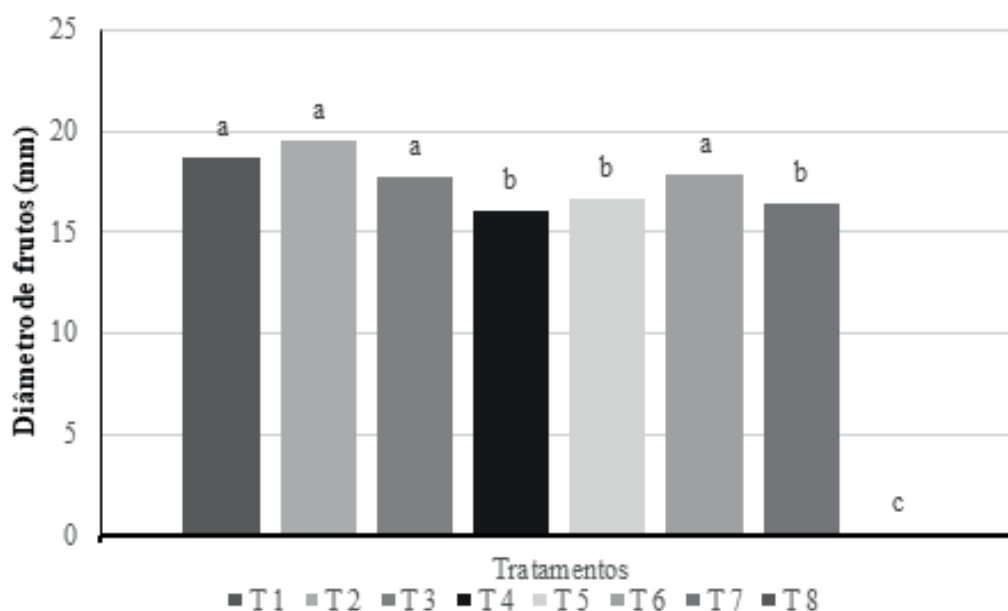
Fonte: Elaboração dos autores (2016).

Em relação ao peso médio dos frutos obtido neste trabalho, o tratamento que promoveu maior incremento foi o T1, sendo semelhante a T2, T3 e T6. Os menores valores de peso médio do fruto dos tratamentos T4, T5 e T7 podem estar relacionados ao efeito salino provocado pela aplicação do fertilizante cloreto de potássio, sendo possível observar que os demais nutrientes, mesmo em doses elevadas, não interferiram nessa variável.

Independentemente da dose de NPK aplicada, os valores de peso médio dos frutos foram superiores ao obtido por Thomé e Osaki (2010) em trabalho avaliando o rendimento de três espécies de *Physalis* em função da adubação com NPK, desenvolvido no estado do Paraná, em que a espécie *Physalis peruviana* L. apresentou peso médio dos frutos inferior a 1,8 g, embora tenham encontrado resultados que evidenciam o aumento do rendimento da planta com o aumento da dose de NPK.

Para a soma do peso médio dos frutos e cálice, o comportamento foi semelhante ao peso médio dos frutos, uma vez que entre o peso médio do cálice não houve diferença significativa.

O diâmetro médio do fruto foi influenciado significativamente pelos tratamentos aplicados (TABELA 5, FIGURA 4).

Figura 4. Diâmetro de frutos de *Physalis peruviana* L., em função de doses variadas de NPK aplicadas no transplântio da cultura

* Médias seguidas de letras semelhantes não diferem entre si, em cada dia de observação após o transplântio, pelo teste de Scott-Knott, com nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Elaboração dos autores (2016).

Como observado para as variáveis peso médio dos frutos, cálice e frutos, o comportamento foi semelhante em relação ao diâmetro do fruto, essa diferença poderá ser atribuída ao que foi ressaltado anteriormente, dado que nas doses de potássio mais elevadas o comportamento se repete, podendo ter relação com o alto poder salino do Cl^- , que, mesmo sendo um micronutriente, em doses elevadas, pode causar danos à cultura.

Em relação à massa seca da parte aérea, raízes, total e relação entre parte aérea e raízes das plantas de *Physalis*, foram observadas diferenças entre as doses de fertilizantes aplicadas na adubação de plantio (TABELA 6).

Tabela 6. Resumo da análise de variância para massa seca da parte aérea (g), massa seca de raiz (g), massa seca total (g) e relação massa seca da parte aérea e da raiz das plantas de *Physalis peruviana* L., em função da adubação de plantio com NPK

FV	Aérea	Raiz	Total	Aérea/Raiz
Adubação NPK	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0000*
CV (%)	22,88	32,98	21,54	27,96
Média	39,88	20,16	60,05	1,89

*: significativo pelo teste F a 5% de probabilidade. FV: Fator de variação; CV: Coeficiente de variação.

Fonte: Elaboração dos autores (2016).

As plantas que receberam o Tratamento 7 apresentaram maior massa seca da parte aérea e total em relação às demais (TABELA 7). A dose de 300 kg ha⁻¹ de ureia, 150 kg ha⁻¹ de superfosfato triplo e 300 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio resultou nos maiores valores de altura da planta, matéria seca e absorção de NPK (PARRA et al., 2014), sendo que neste trabalho a maior produção de massa seca foi com 1600 mg dm⁻³ de N, 4800 mg dm⁻³ P₂O₅ e 3200 mg dm⁻³, correspondendo, respectivamente, a 400 kg ha⁻¹ N, 1200 kg ha⁻¹ P₂O₅ e 800 kg ha⁻¹ de K₂O.

Tabela 7. Massa seca da parte aérea, raiz, massa seca total e relação parte aérea e raiz de plantas de *Physalis peruviana* L., em função de doses variadas de NPK aplicadas no transplante da cultura

TRATAMENTOS	Aérea	Raiz	Total	Aérea/Raiz
T1	19,62 d*	18.85 b	38.48 d	1.19 b
T2	29,48 d	17.13 b	46.61 d	1.80 a
T3	26,80 d	13.23 b	40.03 d	2.16 a
T4	53,05 b	23.47 a	76.52 b	2.33 a
T5	64,42 b	26.38 a	90.80 b	2.55 a
T6	38,94 c	23.93 a	62.88 c	1.75 a
T7	82,77 a	33.12 a	115.90 a	2.61a
T8	3,98 e	5.19 c	9.18 e	0.79 b
CV (%)	22,88	32,98	21,54	27,96

*Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knott com 5% de probabilidade. T1: 400 mg dm⁻³ de N, 800 mg dm⁻³ de P₂O₅, 640 mg dm⁻³ de K₂O; T2: 600 mg dm⁻³ de N, 1200 mg dm⁻³ de P₂O₅, 960 mg dm⁻³ de K₂O; T3: 480 mg dm⁻³ de N, 2400 mg dm⁻³ de P₂O₅, 800 mg dm⁻³ de K₂O; T4: 800 mg dm⁻³ de N, 2400 mg dm⁻³ de P₂O₅, 1600 mg dm⁻³ de K₂O; T5: 1200 mg dm⁻³ de N, 3600 mg dm⁻³ de P₂O₅, 2400 mg dm⁻³ de K₂O; T6: 760 mg dm⁻³ de N, 1680 mg dm⁻³ de P₂O₅, 1400 mg dm⁻³ de K₂O; T7: 1600 mg dm⁻³ de N, 4800 mg dm⁻³ de P₂O₅, 3200 mg dm⁻³ de K₂O; T8: sem fertilização.

Fonte: Elaboração dos autores (2016).

O maior desenvolvimento das raízes foi verificado nas plantas que receberam os Tratamentos 4, 5, 6 e 7 (TABELA 7). As plantas com menor relação entre o peso da parte aérea e o peso de raízes foram as que receberam os Tratamentos 1 e 8. Observa-se que o tratamento com maior dose de NPK (T7) se destacou entre os demais, com plantas bem desenvolvidas tanto em relação à parte aérea quanto raízes, evidenciando uma nutrição adequada dessas.

O teor de graus brix foi influenciado significativamente pelas doses e combinações dos fertilizantes aplicados (TABELA 8).

Tabela 8. Resumo da análise de variância para as características grau Brix dos frutos (°Bx), número total de frutos e produção total de frutos (g) das plantas de *Physalis peruviana* L., em função da adubação de plantio com NPK

FV	Grau Brix	Número de frutos	Produção
Adubação NPK	0,0000*	0,0000*	0,0000*
CV (%)	9,99	25,47	26,53
Média	10,03	9,59	54,85

*: significativo pelo teste F, com 5% de probabilidade; FV: Fator de variação; CV: Coeficiente de variação.

Fonte: Elaboração dos autores (2016).

Na Tabela 9 são apresentadas as médias para graus brix dos frutos, número total de frutos e a produção total de frutos das plantas de *Physalis* em função da adubação de plantio com NPK.

Tabela 9. Valores de graus brix, número de frutos e produção de plantas de *Physalis peruviana* L., em função de doses variadas de NPK aplicadas no transplântio da cultura

Tratamentos	Grau Brix	Número de frutos	Produção
T1	11,70 a*	6,75 b	41.32 c
T2	11,90 a	7,75 b	62.13 b
T3	11,50 a	6,50 b	34.54 c
T4	11,26 a	8,85 b	53.23 b
T5	11,78 a	17,50 a	83.87 a
T6	11,23 a	10,50 b	67.75 b
T7	10,92 a	19,00 a	95.93 a
T8	0,00 b	0,00 c	0.00 d
CV (%)	9,99	25,47	26,53

*Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knott, com 5% de probabilidade. T1: 400 mg dm⁻³ de N, 800 mg dm⁻³ de P₂O₅, 640 mg dm⁻³ de K₂O; T2: 600 mg dm⁻³ de N, 1200 mg dm⁻³ de P₂O₅, 960 mg dm⁻³ de K₂O; T3: 480 mg dm⁻³ de N, 2400 mg dm⁻³ de P₂O₅, 800 mg dm⁻³ de K₂O; T4: 800 mg dm⁻³ de N, 2400 mg dm⁻³ de P₂O₅, 1600 mg dm⁻³ de K₂O; T5: 1200 mg dm⁻³ de N, 3600 mg dm⁻³ de P₂O₅, 2400 mg dm⁻³ de K₂O; T6: 760 mg dm⁻³ de N, 1680 mg dm⁻³ de P₂O₅, 1400 mg dm⁻³ de K₂O; T7: 1600 mg dm⁻³ de N, 4800 mg dm⁻³ de P₂O₅, 3200 mg dm⁻³ de K₂O; T8: sem fertilização.

Fonte: Elaboração dos autores (2016).

Somente as plantas de *Physalis* cultivadas sem adubação de plantio apresentaram menor grau Brix (TABELA 9). Os valores de graus brix encontrados neste experimento foram superiores aos relatados por Valdivia Mares et al. (2016), em trabalho conduzido em campo, que foram entre 7,4 e 10,8. Por outro lado, Ianckiewicz et al. (2013) encontraram valores entre 13,56 e 14,74, valores esses superiores aos encontrados neste trabalho.

Ianckiewicz et al. (2013) afirmam que o teor de sólidos solúveis (grau Brix) está relacionado com a quantidade de açúcares, conseqüentemente, com o sabor dos frutos, o que confere maior qualidade ao produto, além de melhor aceitação no mercado. Portanto, os valores satisfatórios de sólidos solúveis obtidos no presente trabalho permitem inferir que, mesmo com baixas doses de adubação de plantio, essas não afetaram a qualidade dos frutos em relação à concentração de açúcares e, por conseqüência, o sabor dos frutos.

Em relação ao número total de frutos produzidos pelas plantas de *Physalis*, deve-se destacar os tratamentos 5 e 7 que apresentaram maior frutificação (TABELA 9). As plantas que apresentaram maior produção total de frutos foram as que receberam os Tratamentos 5 e 7. Embora esses tratamentos não tenham se destacado em relação ao peso médio do fruto e ao diâmetro médio do fruto, eles produziram maior número de frutos, gerando maior produção. Como a comercialização do *Physalis* é realizada com base no peso dos frutos, cabe destacar o Tratamento 5, que apresentou produção semelhante ao Tratamento 7 com a aplicação de 75% da dose de NPK utilizada neste tratamento. Parra et al., (2014) obtiveram efeitos positivos na aplicação de NPK sobre a produção de *Physalis peruviana* L. com as doses de 560 mg dm⁻³ de N, 280 mg dm⁻³ de P₂O₅ e 720 mg dm⁻³ de K₂O em experimento realizado na Colômbia.

Conclusões

De acordo com as condições em que o presente trabalho foi desenvolvido, a dose de NPK utilizada no plantio da cultura do *Physalis*, que promove maior produção de frutos, com maior economia, é 1200 mg dm⁻³ de N, 3600 mg dm⁻³ de P₂O₅ e 2400 mg dm⁻³ de K₂O.

Quanto ao desenvolvimento morfológico das plantas de *Physalis*, a dose de NPK indicada seria 1600 mg dm⁻³ de N, 4800 mg dm⁻³ de P₂O₅ e 3200 mg dm⁻³ de K₂O.

NPK Fertilization at Planting for *Physalis* (*Physalis peruviana* L.)

Abstract

Physalis peruviana L. (Solanaceae) is an Andean shrub species that produces sugary fruits. The cultivation of this species is recent, thus, aspects related to soil fertilization for it still need to be studied. The objective of this work was to define the rates of NPK fertilizer applied at planting that meet the requirements of physalis crops. The experiment was conducted at Institute Federal of Minas Gerais (IFMG), *Campus* Bambuí, from February 25 to November 23, 2015. A completely randomized design was used, with 8 treatments and 6 replications, totaling 48 experimental units. The treatments consisted of N, P₂O₅, and K₂O rates (kg ha⁻¹), using urea (45% N), monoammonium phosphate (9% N and 44% P₂O₅), and potassium chloride (58% of K₂O). Morphological and bromatological characteristics and fruit production were evaluated. Data were subjected to analysis of variance and the means grouped by the Scott-Knott test at 5% probability. The NPK rate that generates the higher fruit production and greater savings is 1200 mg dm⁻³ of N, 3600 mg dm⁻³ of P₂O₅, and 2400 mg dm⁻³ of K₂O, and the NPK rate that results in greater morphological development is 1600 mg dm⁻³ of N, 4800 mg dm⁻³ of P₂O₅, and 3200 mg dm⁻³ of K₂O.

Keywords: Cape gooseberry. Mineral nutrition of plants. Soil fertility. Production.

Referências

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>. Acesso em: 02 mar. 2016.

FISCHER, G. **Avances en cultivo, poscosecha y exportación de la Uchuva *Physalis peruviana* L. en Colombia**. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2005. 221p.

IANCKIEVICZ, A.; TAKABASBI, H. W.; FREGONEZI, G. A. F.; RODINI, F. K. Produção e desenvolvimento da cultura de *Physalis* L. submetida a diferentes níveis de condutividade elétrica da solução nutritiva. **Ciência rural**, v. 43, n. 3, p. 438-444, 2013. Disponível em: <http://eds.a.ebscohost.com/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=0&sid=24551118-2616-4d15-bac4-b3b4d28acd6b%40sessionmgr4007>. Acesso em: 03 mar. 2016.

LIMA, C. S. M. **Fenologia, sistemas de tutoramento e produção de *Physalis peruviana* na região de Pelotas, Rio Grande do Sul**. 117f. 2009. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pelotas, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, 2009.

PARRA, A. S.; BUCHELI, C. A.; MARÍN, A. C.; CORAL, O. C.; LAGOS, T. C. Respuesta de *Physalis peruviana* a la fertilización con diferentes dosis de N, P y K en el Altiplano de Pasto, Colombia. **Acta Agronómica**, v. 64, n. 4, p. 330-335, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.15446/acag.v64n4.44290>. Acesso em: 05 fev. 2016.

RUFATO, A. R.; RUFATO, L.; LIMA, C. S. M.; MUNIZ, J. **A cultura da physalis**. Brasília: EMBRAPA, 2013. p.172-238.

RUFATO, L.; ROSSI, R. A. de. **Aspectos técnicos da cultura da physalis**. Pelotas: CAV/UEDESC, 2008. 100 p.

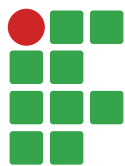
THOMÉ, M.; OSAKI, F. Adubação de nitrogênio, fósforo e potássio no rendimento de *Physalis* spp. **Revista Acadêmica Ciência Animal**, v. 8, n. 1, p. 11-18, 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.7213/cienciaanimal.v8i1.10364>. Acesso em: 15 fev. 2016.

VALDIVIA-MARES, L. E.; ZARAGOZA, F. A. R.; GONZÁLEZ, J. J. S; VARGAS-PONCE, O. Phenology, agronomic and nutritional potential of three wild husk tomato species (*Physalis*, Solanaceae) from Mexico. **Scientia Horticulturae**, v. 200, p. 83–94, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2016.01.005>. Acesso em: 10 fev. 2016.

Histórico editorial

Submetido em: 05/01/2018

Aceito em: 27/03/2018



Períodos de atividades de mamíferos no Parque Ecológico Quedas do Rio Bonito, Lavras, Minas Gerais, Brasil

Ellen Cristina Mões Oliveira¹

Felipe Santana Machado²

Antônio Carlos da Silva Zanzini³

Resumo

O período de atividade apresenta uma partição temporal das espécies que coabitam uma mesma área para evitar a competição, além disso, otimiza os esforços de captura e aumenta o conhecimento da história natural das espécies. Os impactos antrópicos comprometem essa atividade, pois alteram seus padrões; mesmo assim, estudos desse tema não estiveram no foco de pesquisas nas últimas décadas. Portanto, este trabalho demonstra e discute o padrão de atividade de mamíferos de médio e grande porte em uma reserva ecológica no sul de Minas Gerais. Por meio de armadilhamento fotográfico, duas espécies foram classificadas como espécies catemerais, quatro como noturnas e outras duas como diurnas. O hábito predominante foi o noturno, que é resultado de comportamentos adaptativos à pressão de predação e ações humanas. Reitera-se que os resultados evidenciam a importância biológica da região e a necessidade de novos estudos sistematizados com foco na mastofauna local de médio e grande porte, objetivando contribuir para um conhecimento mais abrangente da biodiversidade local.

Palavras-chave: Padrão de atividade. Comportamento. Atividade funcional.

Introdução

O estado de Minas Gerais possui uma biodiversidade favorecida por geocomponentes como bacias hidrográficas, formas de relevos e solos, o que possibilita uma variedade de fitofisionomias (DRUMMOND et al., 2005). Destacam-se os domínios do Cerrado e Mata Atlântica, dois hotspots em estado crítico de conservação (MYERS, 2000). Possui uma elevada riqueza de mastofauna, com aproximadamente 250 espécies conhecidas. Dessas, 40 espécies estão ameaçadas de extinção e o principal fator de ameaça é o desmatamento. Entre as espécies ameaçadas, os animais de médio e grande porte representam alguns dos grupos mais críticos (DRUMMOND et al., 2005; LIMA; PASCIANI, 2014).

Os mamíferos de médio e grande porte estão acima de um quilograma (FONSECA; ROBINSON, 1990). Esse grupo é abordado em diferentes estudos com maioria relacionada a descrições de

1 Universidade Federal do Rio Grande do Norte, - mestranda, Pós-Graduação em Ecologia. ivs_ellen@hotmail.com. Rua do Berilo, 271, Lagoa Nova, Natal-RN, CEP 59078-000.

2 Universidade Federal de Lavras (UFLA) Departamento de Ciências Florestais, pesquisador associado. Escola Estadual Profa. Ana Letro Staacks, professor. epilefsama@hotmail.com

3 UFLA/Departamento de Ciências Florestais, professor. zanzini@dcf.ufla.br.

diversidade alfa (MACHADO et al., 2016; MACHADO et al., 2017, entre outros), porém faltam trabalhos referentes a seus períodos de atividade.

O padrão de atividade faz parte de uma das dimensões do nicho ecológico de uma espécie, a dimensão temporal (SCHOENER, 1974). A partição temporal das espécies que coabitam uma mesma área é uma estratégia para evitar a competição, principalmente entre espécies com hábitos semelhantes (SCHOENER, 1974; KRONFELD-SCHOR; DAYAN, 2003). Assim, animais raramente estão ativos toda noite e dia, pois alteram seus períodos entre atividade e repouso (PEREIRA et al., 2016). Durante o estado ativo, os animais podem forragear, buscar parceiro sexual ou fazer a defesa de seu território. Durante o estado de repouso, os animais se preparam para um novo período ativo (HALLE; STENSETH, 2000).

Determinar o período de atividade otimiza os esforços de captura e é uma relevante informação para o conhecimento da história natural (NASCIMENTO et al., 2004). Contudo os impactos antrópicos comprometem a atividade (GÓMEZ et al., 2005; ALFONSO-REYES, 2013), pois alteram seus padrões rítmicos em acordo com modificações ambientais (GRIFFITHS; VAN-SCHAIK, 1993; GOMEZ et al., 2005; ALFONSO-REYES, 2013).

Estudos que buscam compreender o padrão de atividade e a maneira como ocorre a partilha temporal não estiveram no foco das pesquisas das últimas décadas (KRONFELD-SCHOR; DAYAN, 2003). Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo determinar os períodos de atividades de mamíferos de médio e grande porte e secundariamente contribuir para o conhecimento da composição de espécies de uma reserva ecológica. Hipotetiza-se que, pela área de estudo ser conservada, as espécies podem modificar seus padrões de atividade quando comparados com outros trabalhos publicados.

Material e métodos

Área de estudo

O presente estudo foi conduzido no Parque Ecológico Quedas do Rio Bonito (PEQRB). O parque está situado no município de Lavras, Minas Gerais. É uma propriedade particular aberta ao público e possui área de 235 hectares. Estende-se sobre uma região de serras cobertas por uma floresta tropical fluvial, próxima à Serra do Carrapato, que por sua vez representa uma disjunção da Serra do Espinhaço. Localiza-se nas coordenadas 21°19'45"S, 44°59'00"O e sua altitude varia entre 984 e 1.235 m. A propriedade é mantida pela Fundação Abraham Kasinski e constitui a maior área verde de Lavras. Dentro do Parque existe um mosaico de fitofisionomias devido ao histórico de incêndios florestais e à remoção de madeira no passado (OLIVEIRA-FILHO; FLUMINHAN-FILHO, 1999).

Localizado entre os biomas Cerrado e Mata Atlântica, apresenta as fitofisionomias: Floresta Semidecidual Aluvial, Floresta Estacional Semidecidual Montana, Cerrado, Candeia, Campos Rupestres e Campos de Altitude (SANTOS et al., 2016). O Córrego Vilas Boas faz a drenagem local e sua nascente encontra-se dentro das divisas do parque. Esse curso d'água possui aproximadamente 17 km de extensão e deságua no Rio Capivari, na divisa entres os municípios de Lavras e Itumirim. De acordo com a classificação de Köppen, o clima é do tipo Cwa, com precipitação média anual de 1.460 mm. Sua temperatura média anual é de 20.4 °C, variando de 17 °C a 23 °C (SANTOS et al., 2016).

Coleta de dados

O levantamento da fauna de mamíferos de médio e grande porte do PEQRB foi realizado por um período de 10 meses, entre os meses de março e dezembro de 2016, abrangendo períodos da estação seca e chuvosa. Foi utilizado o método de amostragem de armadilhamento fotográfico. As armadilhas fotográficas foram distribuídas em oito pontos de habitats florestais, duas em cada ponto. Cada armadilha fotográfica ficou em modo filmagem durante 24 horas dia⁻¹, com duração de 10 segundos e intervalos de 30 segundos entre as gravações. Em cada área onde uma câmera foi instalada, de 10 em 10 dias, eram realizadas visitas e recolhidos os dados dos cartões de memória e armazenados separadamente por visita e por câmera. A câmera possui um ângulo de aproximadamente 90° de visão horizontal e 30° de visão vertical. Visando à qualidade da imagem, a instalação foi feita entre 5 e 10 cm do chão em área de sombra. O disparo ocorria sempre na presença de movimento ou calor corporal.

O esforço amostral foi calculado por meio do número de armadilhas fotográficas vezes o número de horas de operação (SRBEK-ARAUJO; CHIARELLO, 2005). Os registros fotográficos foram considerados independentes quando o intervalo entre as fotografias de uma mesma armadilha fotográfica para uma mesma espécie era de uma hora ou mais (SRBEK-ARAUJO; CHIARELLO, 2013). Portanto, durante todo o período de estudo foi empregado para cada área um esforço amostral de 14.400 horas e um esforço total de 57.600 horas. A nomenclatura das espécies seguiu Paglia et al. (2012) para as espécies nativas e Gentry et al. (2004) para espécies exóticas.

Os status de conservação seguem a International Union for Conservation Nature (IUCN, 2015) para as espécies ameaçadas em âmbito global, Brasil (2014) para as espécies ameaçadas em âmbito nacional e Conselho Estadual de Política Ambiental - COPAM (2010) para as espécies ameaçadas no estado de Minas Gerais.

Análise dos dados

As câmeras foram reguladas para registrar em cada filmagem o dia, a hora e o minuto. Com essas informações, foi possível obter o número de registros por espécie e seus horários de atividade, sendo um registro considerado como uma filmagem, não importando o número de indivíduos registrados.

O perfil de atividade das espécies registradas foi elaborado a partir de histogramas de frequência, cujo período abrangeu 24 horas. Também foram utilizados gráficos de estatística circular (diagrama de rosas) para aquelas espécies cujo número de registros foi suficiente para obter o teste estatístico de Watson (U^2). Os diagramas de rosas representando o período de atividade de cada uma das espécies foi feito de acordo com Kovach (2011). Esse teste de Watson assume como hipótese nula que os dados se distribuem uniformemente em torno da média circular. As análises foram realizadas mediante o emprego do programa Oriana 4.0 (KOVACH, 2011).

Para caracterizar as espécies registradas em relação ao seu período de atividade, foi utilizado o critério recomendado por Gomez et al. (2005), o qual caracteriza as espécies de acordo com os seguintes critérios:

- Até 70% dos registros no período diurno: espécies diurnas.
- Com 30 a 70% de registros noturnos: espécies catemerais, isto é, encontram-se ativas durante o dia e durante à noite.
- Com mais de 70% de registros noturnos: espécies noturnas.

Resultados e discussão

Resultados

Foram registradas 13 espécies de mamíferos de médio e grande porte, sendo 12 nativas e uma exótica, pertencentes a sete ordens e 10 famílias (TABELA 1). Das 13 espécies, duas são classificadas em categorias de ameaça (vulneráveis) pelo Ministério do Meio Ambiente (2014): *Chrysocyon brachyurus* (ILLIGER, 1815) e *Herpailurus yagouaroundi* (GEOFFROY, 1803).

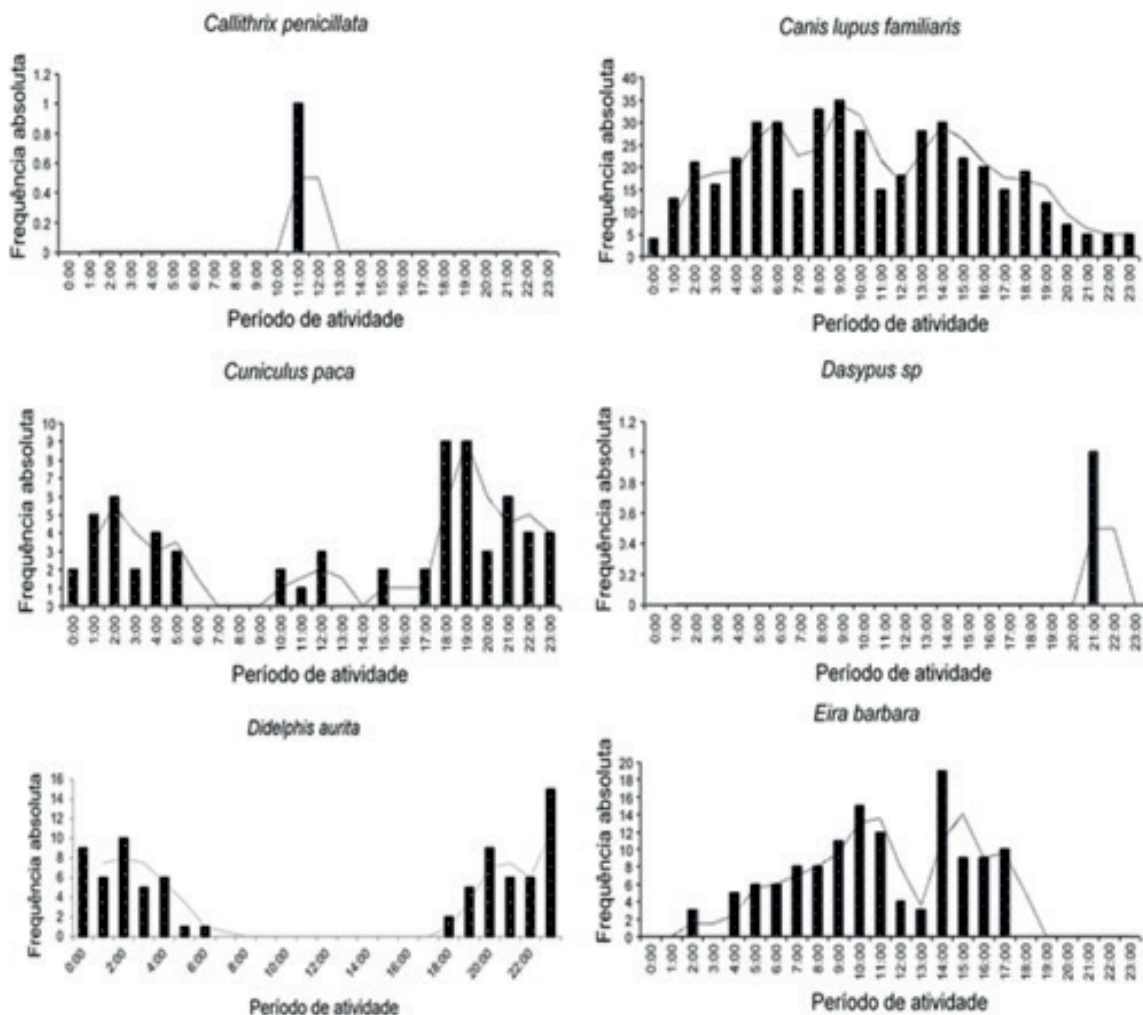
Tabela 1. Lista de espécies, nomes comuns e categoria de conservação, segundo o Ministério do Meio Ambiente, COPAM e IUCN, no Parque Ecológico Quedas do Rio Bonito, sul do estado de Minas Gerais, Brasil.

Taxon	Nome Comum	Estadual	MMA	IUCN
DIDELPHIMORPHA DIDELPHIDAE				
<i>Didelphis aurita</i> (Wied-Neuwied, 1826)	Gambá-de-orelha-preta	-	-	-
CINGULATA DASYPIDIDAE				
<i>Euphractus sexcinctus</i> (Linnaeus, 1758)	Tatu-peludo	-	-	-
<i>Dasyus</i> sp.		-	-	-
ARTIODACTYLA TAYASSUIDAE				
<i>Pecari tajacu</i> (Linnaeus, 1758)	Cateto, caititu	Vulnerável	-	-
PRIMATES CALLITRICHIDAE				
<i>Callithrix penicillata</i> (É. Geoffroy, 1812)	Sagui, mico-estrela	-	-	-
CARNIVORA				
CANIDAE				
<i>Canis lupus familiaris</i> Linnaeus, 1758	Cachorro doméstico	-	-	-
<i>Chrysocyon brachyurus</i> (Illiger, 1815)	Lobo-guará	Vulnerável	Vulnerável	Quase ameaçada
FELIDAE				
<i>Leopardus pardalis</i> (Linnaeus, 1758)	Jaguaririca	Vulnerável	-	-
<i>Herpailurus yagouaroundi</i> (Geoffroy, 1803)	Jaguarundi, gato-mourisco	Vulnerável	-	-
MUSTELIDAE				
<i>Eira barbara</i> (Linnaeus, 1758)	Irara, papa-mel	-	-	-
PROCYONIDAE				
<i>Nasua nasua</i> (Linnaeus, 1766)	Quati	-	-	-
LAGOMORPHA LEPORIDAE				
<i>Sylvilagus brasiliensis</i> (Linnaeus, 1758)	Coelho, tapiti	-	-	-
RODENTIA				
CUNICULIDAE				
<i>Cuniculus paca</i> (Linnaeus, 1766)	Paca	-	-	-

Fonte: Elaborada pelos autores (2019).

Cabe ressaltar que apesar deste estudo ter apresentado um número de registro de 13 espécies (FIGURA 1) para as análises dos períodos de atividade, os registros observados foram suficientes para se estabelecer uma análise para somente oito: *Canis lupus familiaris* Linnaeus, 1758 (448), *Cuniculus paca* (Linnaeus, 1766) (67), *Chrysocyon brachyurus* (Illiger, 1815) (13), *Didelphis aurita* (Wied-Neuwied, 1826) (81), *Eira barbara* (Linnaeus, 1758) (128), *Leopardus pardalis* (Linnaeus, 1758) (10), *Nasua nasua* (Linnaeus, 1766) (128) e *Sylvilagus brasiliensis* (Linnaeus, 1758) (24) (FIGURA 2). A classificação do período de atividade e uniformidade na distribuição dos registros (Teste de Watson) foi realizada de acordo com a classificação das fases do dia. *Canis lupus familiaris* e *L. pardalis* são classificadas como espécies catemerais, enquanto *C. paca*, *C. brachyurus*, *D. aurita* e *S. brasiliensis* são classificadas como noturnas e apenas *E. barbara* e *N. nasua* são classificadas como diurnas (TABELA 2).

Figura 1. Períodos de atividade de seis espécies no Parque Ecológico Quedas do Rio Bonito, sul do estado de Minas Gerais, Brasil.



Fonte: Elaborada pelos autores (2019).

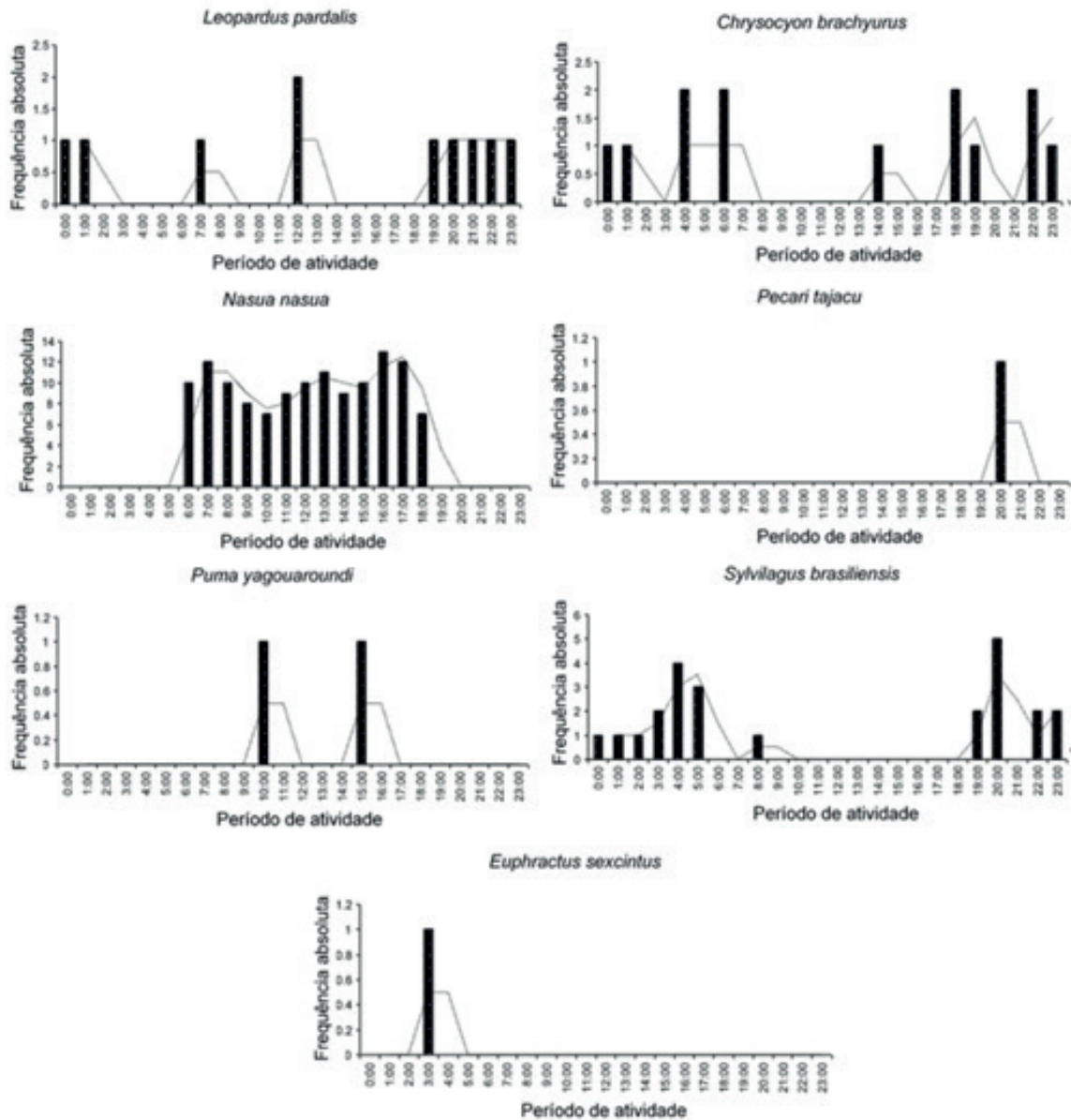
Tabela 2. Número total de registros por espécie, distribuição dos registros entre os períodos do dia, classificação do período de atividade e uniformidade na distribuição (Teste de Watson), para mamíferos de médio e grande porte no Parque Ecológico Quedas do Rio Bonito, sul do estado de Minas Gerais, Brasil.

Táxon	Número de Registros			Classificação	Vetor R	Valor p para o Teste de Watson (U^2)
	Total	Diurnos	Noturnos			
<i>Canis lupus familiaris</i> (Linnaeus, 1758)	448	289	159	Caternal	0,248	< 0,005 *
<i>Cuniculus paca</i> (Linnaeus, 1766)	67	10	57	Noturna	0,698	< 0,005 *
<i>Chrysocyon brachyurus</i> (Illiger, 1815)	13	3	10	Noturna	0,393	> 0,5
<i>Didelphis aurita</i> (Wied-Neuwied, 1826)	81	01	80	Noturna	0,726	< 0,005 *
<i>Eira barbara</i> (Linnaeus, 1758)	128	114	14	Diurna	0,637	< 0,005 *
<i>Leopardus pardalis</i> (Linnaeus, 1758)	10	03	07	Caternal	0,109	> 0,5
<i>Nasua nasua</i> (Linnaeus, 1766)	128	121	07	Diurna	0,633	< 0,005 *
<i>Sylvilagus brasiliensis</i> (Linnaeus, 1758)	24	01	23	Noturna	0,637	< 0,005 *

* Valores de p com elevada significância estatística, indicando uma distribuição não uniforme no período de atividade.

Fonte: Criada pelos autores (2019).

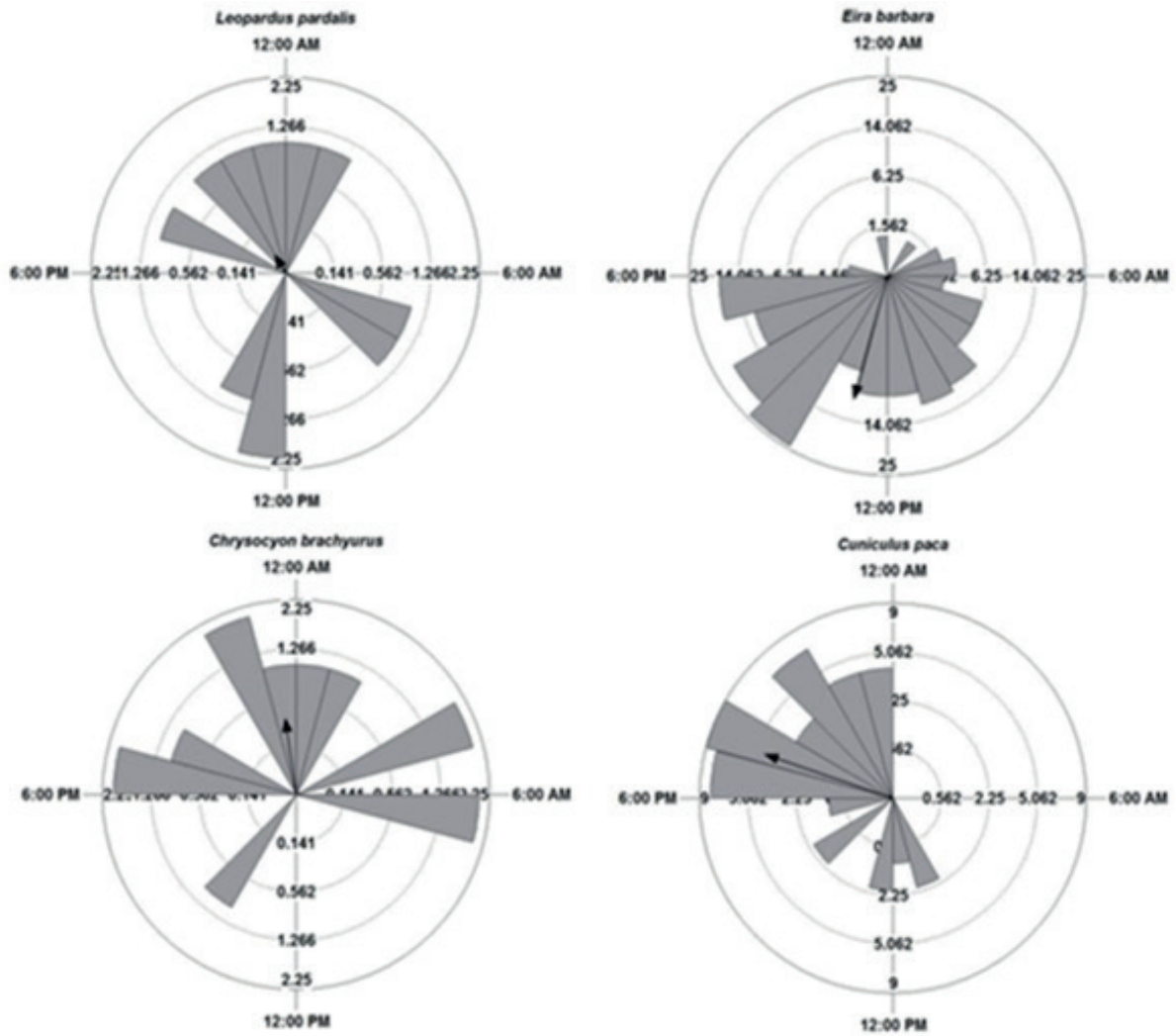
Figura 2. Períodos de atividade de sete espécies no Parque Ecológico Quedas do Rio Bonito, sul do Estado de Minas Gerais, Brasil.



Fonte: Elaborada pelos autores (2019).

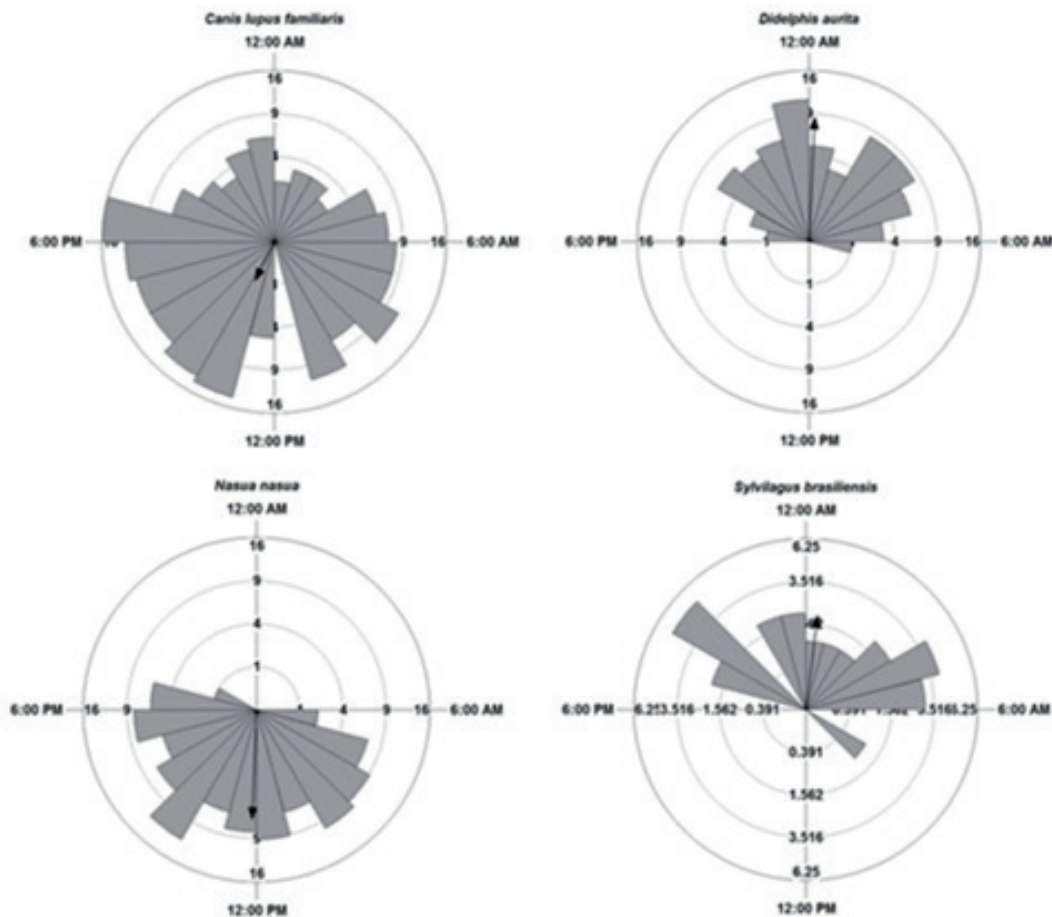
Os diagramas de rosas representam os períodos de atividades das espécies, nos quais cada faixa circular apresenta áreas proporcionais à frequência dos registros. As setas indicam o horário que aquela espécie apresentou maior atividade (FIGURAS 3; 4).

Figura 3. Diagrama de rosas para o período de atividade de quatro espécies no Parque Ecológico Quedas do Rio Bonito, sul do Estado de Minas Gerais, Brasil.



Fonte: Elaborada pelos autores (2019).

Figura 4: Diagrama de rosas para o período de atividade de quatro espécies no Parque Ecológico Quedas do Rio Bonito, sul do Estado de Minas Gerais, Brasil.



Fonte: Elaborada pelos autores (2019).

Discussão

Os períodos de atividades de mamíferos de médio e grande porte corroboraram outros estudos para *N. nasua*, *E. barbara*, *C. paca*, *C. brachyurus* e *S. brasiliensis* (CIOCHETI, 2007; MICHALSKI; NORRIS, 2011; LIRA-TORRES; BRIONES-SALAS, 2012; LUNA, 2014; ROCHA, 2015; PINHEIRO, 2015; SANTIAGO, 2015; PEREIRA et al., 2016; NODARI, 2016). *Cuniculus paca* foi classificada como noturna, diferenciando dos resultados de Luna (2014). Seu comportamento predominantemente noturno (MICHALSKI; NORRIS, 2011; BRAVO; SONTIN, 2012; MORENO; IRINEO, 2013) está associado à plasticidade comportamental, pois se ajustam aos diversos níveis de impacto local (MICHALSKI; NORRIS, 2011; LUNA, 2014; BLAKE et al., 2013). Por outro lado, *L. pardalis*, classificada como catemeral, se diferenciou dos demais estudos nos quais foi classificada como noturna (MAFFEI et al., 2005; GÓMEZ et al., 2005; DI BITETTI et al., 2006; TOBLER et al., 2009; DI BITETTI et al., 2010; BLAKE et al., 2012; CORTÉS-MARCIAL; BRIONES-SALAS, 2014).

O tamanho corporal influencia diretamente o padrão de atividade das espécies. Os mamíferos menores tendem a ser noturnos, como estratégia antipredatória, enquanto os mamíferos maiores tendem a ser catemerais, pois possuem maiores exigências energéticas (SCHAIK; GRIFFITHS, 1996; GOMEZ et al., 2005; OLIVEIRA-SANTOS et al., 2013; NODARI 2016). Os resultados sugerem que essa afirmativa é verdadeira, pois as espécies catemerais apresentaram grande porte (*L. pardalis* e *C. familiaris*). As espécies noturnas apresentaram, na sua maioria, um menor porte (*S. brasiliensis*, *D. aurita*. e *C. paca*), com exceção de apenas *C. brachyurus*, que possui um grande porte, porém com hábitos noturnos.

Os animais que mais sofrem os efeitos negativos da ação antrópica são os felinos (LUNA, 2014). *Leopardus pardalis* tem seu padrão de atividade alterado e confinado a algum período do dia, como ocorre em florestas impactadas na Bolívia, Peru e Argentina (SCOGNAMILLO et al., 2003; DI BITETTI et al., 2010). Eles utilizam o dia, pois precisam de grande demanda energética, assim, apresentam um padrão de atividade catemeral sem perturbações antrópicas (MAFFEI et al., 2004; GOMEZ et al., 2005; NOSS et al., 2009; HARMSEN et al., 2009, 2011). Em áreas antropizadas, esses animais apresentam uma alteração no padrão de atividade, tornando-se noturnos para evitar os períodos de maior atividade humana (DI BITETTI et al., 2008). Isso demonstra que a área de estudo possui aspectos de área preservada e o padrão aqui descrito é resultado de uma pressão evolutiva, a competição interespecífica (GOMEZ et al., 2005; NODARI, 2016).

Demais carnívoros tendem a ter um período de atividade fortemente relacionado com o período de atividade de suas presas (VAUGHAN, 1986). *Chrysocyon brachyurus* são notórios predadores de pequenos mamíferos (NASCIMENTO et al., 2004) e, devido a esse fato, possuem hábito noturno. O quati, outro carnívoro, apresenta um ciclo diurno, que pode ser explicado pela sua dieta que inclui frutos, invertebrados e pequenos vertebrados (NASCIMENTO et al., 2004; PINHEIRO, 2015).

De uma forma holística, os animais predadores e presas apresentam uma segregação temporal. Os predadores tendem a apresentar períodos de atividade mais amplos durante o dia ou em algum momento dele, enquanto as presas são basicamente noturnas. Contudo, existe uma pequena sobreposição em períodos crepusculares, a qual pode favorecer interações interespecíficas como predação. A condição do ambiente favorece a ocorrência dessa comunidade heterogênea (SANTOS et al., 2016) e das interações agonísticas ou não, favorecendo o equilíbrio ambiental (como predito por PAINE, 1966, ao considerarmos o efeito “*bottom-up*” e “*top-down*” em redes tróficas complexas).

Conclusão

Conclui-se que o hábito predominante foi o noturno, o qual é resultado de comportamentos adaptativos à pressão de predação e ações humanas. Reitera-se que os resultados apresentados evidenciam a elevada importância biológica da área de estudo e a necessidade da realização de novos estudos com foco na mastofauna local de médio e grande porte, objetivando contribuir para um conhecimento mais abrangente. Além disso, um esforço amostral maior pode facilitar novos registros inclusive para espécies com poucos registros ou que não foram registradas.

Activity patterns of mammals at Quedas do Rio Bonito Ecological Park, Lavras City, Minas Gerais State, Brazil

Abstract

The activity patterns present a temporal partition of species cohabiting the same area in order to avoid competition. Moreover, it optimizes capture efforts and provides information on the natural history of species. Nevertheless, anthropic impacts compromise this activity by changing the patterns. Since there is a lack of studies in the last decades, this work demonstrates and discusses the pattern of activity of medium and large mammals in an ecological park in the south of the state of Minas Gerais, Brazil. Photographic trapping registered two species classified as cathemeral, four as nocturnal and two as diurnal. The predominant habit was nocturnal, which is the result of adaptive behaviors related to predation and human actions. The results of this study show the biological importance of the region and the need for new systematized studies focusing on the medium and large local mammal fauna, aiming to contribute to a more comprehensive knowledge of the local biodiversity.

Keywords: Activity pattern. Behavior. Functional activity.

Referências

- ALFONSO-REYES, A. F. **Abundância relativa, padrões de atividade e uso de habitat de onça-pintada e onça-parda no norte da Amazônia brasileira**. 2013. 71 f. Dissertação (Mestrado em Biologia Animal) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/10488/1/Disserta%c3%a7%c3%a3o%20Andr%c3%a9s%20Reyes.pdf>. Acesso em: 16 set. 2015.
- ARAÚJO-FILHO, J. C. A. **Floresta Estacional Semidecidual**. 2009. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/territorio_mata_sul_pernambucana/arvore/CONT000gt7eon7I02wx7ha087apz2x2zjco4.html. 2009. Acesso em: 16 set. 2015.
- BLAKE, J. G.; MOSQUERA, D.; LOISELLE, B. A.; SWING, K.; GUERRA, J.; ROMO, D. Temporal activity patterns of terrestrial mammals in lowland rainforest of eastern, Ecuador. **Ecotropica**, v. 137, n. 18, p. 137–146, 2012. Disponível em https://www.socetropecol.eu/PDF/Ecotropica_2012/Blake_et_al_2012_Ecotropica_18_2.pdf. Acesso em: 16 set. 2015.
- BLAKE, J. G.; MOSQUERA, D.; SALVADOR, J. Use of mineral licks by mammals and birds in hunted and non-hunted areas of Yasuní National Park, Ecuador. **Animal Conservation**, v. 16, n. 4, p. 430–437, 2013. Disponível em: <https://zslpublications.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/acv.12012>. Acesso em: 16 set. 2015.
- BRASIL. **Lista de espécies ameaçadas de extinção do Brasil**. 2014. Disponível em http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/biodiversidade/faunabrasileira/avaliacao-do-risco/PORTARIA_N%C2%BA_444_DE_17_DE_DEZEMBRO_DE_2014.pdf. Acesso em: 16 set. 2015.

BRAVO, O. E. R.; SANTIN, L. H. New records of tepezcuinle (*Cuniculus paca*) in Puebla, Central Mexico. **Revista Mexicana de Biodiversidad**. v. 83, p. 872-874, 2012. Disponível em: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1870-34532012000300032&lng=es&nrm=iso. Acesso em: 16 set. 2015.

CIOCHETI, G. **Uso de habitat e padrão de atividade de médios e grandes mamíferos e nicho trófico de Lobo-Guará (*Chrysocyon Brachyurus*), Onça-parda (*Puma concolor*) e Jaguaritica (*Leopardus pardalis*) numa paisagem agroflorestral, no estado de São Paulo**. 2007. 78 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Ecossistemas Aquáticos e Terrestres) - Universidade de São Paulo, São Paulo. 2007. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/41/41134/tde-16062008-135748/pt-br.php>. Acesso em: 16 set. 2015.

CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL(COPAM). **Deliberação normativa nº 147, de 30 de abril de 2010**. Lista de Espécies Ameaçadas de Extinção da Fauna do Estado de Minas Gerais. 2010. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=13192>. Acesso em: 16 set. 2015.

CORTÉS-MARCIAL, M.; BRIONES-SALA, M. Diversidad, abundância relativa patrones de actividad de mamíferos medianos y grandes en una selva seca del Istmo de Tehuantepec, Oaxaca, México. **Revista de Biología Tropical**, v. 62, n. 4, p. 1433-1448. Disponível em: <https://www.scielo.sa.cr/pdf/rbt/v62n4/a14v62n4.pdf>. Acesso em: 16 set. 2015.

DI BITETTI, M. S.; PAVIOLO, A.; DE ANGELO, C. Density, habitat use and activity patterns of ocelots (*Leopardus pardalis*) in the Atlantic Forest of Misiones, Argentina. **Journal of Zoology**, v. 270, n. 1, p. 153–163, 2006. Disponível em: <https://zslpublications.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1469-7998.2006.00102.x>. Acesso em: 21 ago. 2016.

DI BITETTI, M. S.; PAVIOLO, A.; FERRARI, C. A.; DE ANGELO, C.; DI BLANCO, Y. Differential Responses to Hunting in Two Sympatric Species of Brocket Deer (*Mazama americana* and *M. nana*). **Biotropica**. v. 40, n. 5, p. 636–645, 2008. Disponível em: <https://zslpublications.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1469-7998.2006.00102.x>. Acesso em: 21 ago. 2016.

DI BITETTI, M. S.; DE ANGELO, C. D.; DI BLANCO, Y. E.; PAVIOLO, A. Niche partitioning and species coexistence in a Neotropical felid assemblage. **Acta Oecologica**, v. 36, n. 4, p. 403–412, 2010. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1146609X10000548>. Acesso em: 21 ago. 2016.

DRUMMOND, G. M. **Biodiversidade em Minas Gerais: um atlas para sua conservação**. Belo Horizonte: Fundação Biodiversitas, 2005. p. 2-17.

FONSECA, G. A. B.; ROBINSON, J. G. Forest size and structure: competitive and predatory effects on small mammal communities. **Biological Conservation**, v. 53, p. 265-294, 1990. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0006320790900979>. Acesso em: 21 ago. 2016.

GENTRY, A.; CLUTTON-BROCK, J.; GROVES, C. P. The naming of wild animal species and their domestic derivatives. **Journal of Archaeological Science**, v. 31, n. 5, p. 645-651, 2004. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305440303001638>. Acesso em: 21 ago. 2016.

GOMES, L.; LENZA, E.; MARACAHIPES, L.; MARIMON, B. S.; OLIVEIRA, E. A. Comparações florísticas e estruturais entre duas comunidades lenhosas de cerrado típico e cerrado rupestre, Mato Grosso, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, Nova Xavantina, v. 25, n. 4, p. 865-875, 2011. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102-33062011000400013&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 21 ago. 2016.

GOMEZ, H.; WALLACE, B.; AYALA, G.; TEJEDA, R. Dry season activity periods of some Amazonian mammals. **Studies on Neotropical Fauna and Environment**, v. 40, p. 91-95, 2005. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01650520500129638>. Acesso em: 21 ago. 2016.

GRIFFITHS, M. S.; SCHAIK C. P. V. The impact of human traffic on the abundance and activity periods of Sumatran rain forest wildlife. **Conservation Biology**, v. 7, n. 3, p. 623-626, 1993. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1046/j.1523-1739.1993.07030623.x>. Acesso em: 23 jun. 2016.

HALLE, S.; STENSETH, N. C. Ecological Studies. In: HALLE, S.; STENSETH, N. C. (Ed.). **Activity Patterns in Small Mammals – an Ecological Approach**. Berlin: Springer, 2000. p. 3-17.-

HARMSSEN, B. J.; FOSTER, R. J.; SILVER, S. C.; OSTRO, L. E. T.; C. P.; DONCASTER. Spatial and temporal interactions of two sympatric cats in a neotropical forest: the jaguar (*Panthera onca*) and the puma (*Puma concolor*). **Journal of mammalogy**, v. 90, n. 3, p. 612-620, 2009. Disponível em: <https://academic.oup.com/jmammal/article/90/3/612/874375>. Acesso em: 23 jun. 2016.

HARMSSEN, B. J.; FOSTER, R. J.; SILVER, S. C.; OSTRO, L. E. T.; DONCASTER, C. P. Jaguar and puma activity patterns in relation to their main prey. **Mammalian Biology**, v. 76, n. 3, p. 320–324, 2011. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1616504710001163>. Acesso em: 23 jun. 2016.

INTERNATIONAL UNION FOR CONSERVATION OF NATURE AND NATURAL RESOURCES (IUCN). **Redlist of threatened species. 2015**. Disponível em: <http://www.iucnredlist.org/>. Acesso em: 16 set. 2015.

KOVACH, W. L. **Oriana**: circular statistics for windows. Pentraeth: Kovach Computing Services, 2011. p. 57-58.

KRONFELD-SCHOR, N.; DAYAN, T. Partitioning of time as an ecological resource. **Annual review of ecology, evolution, and systematics**, v. 33, p. 153-181, 2003. Disponível em: <https://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev.ecolsys.34.011802.132435>. Acesso em: 16 set. 2015.

LIMA, J. C. S.; PASCIANI, V. Riqueza de espécies de mamíferos de médio e grande porte na Fundação Jardim Botânico de Poços de Caldas, Minas Gerais, Brasil. **Revista Biociências**, Taubaté, v. 20, n. 2, p. 62-70, 2014. Disponível em: <http://periodicos.unitau.br/ojs/index.php/biociencias/article/view/1889>. Acesso em: 16 set. 2015.

LIRA-TORRES, I.; BRIONES-SALAS, M. Abundancia relativa y patrones de actividad de los mamíferos de los chimalpas, Oaxaca, México. **Acta Zoológica Mexicana**, v. 28, n. 3, p. 566-585, 2012. Disponível em: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0065-17372012000300006&script=sci_arttext&tlng=pt. Acesso em: 16 set. 2015.

LUNA, R. B. **Padrão de atividades de duas comunidades de mamíferos no extremo norte da Amazônia brasileira sob diferentes níveis de conservação**. 2014. 98 f. Dissertação (Mestrado em Biologia Animal) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2014. Disponível em: <https://attena.ufpe.br/bitstream/123456789/11876/1/DISSERTA%c3%87%c3%83O%20Rodolfo%20Burgos%20de%20Luna.pdf>. Acesso em: 16 set. 2015.

MACHADO, F. S.; ALMEIDA, A. F.; BARROS, D. A.; PEREIRA, J. A. A.; SILVA, R. A.; PEREIRA, A. A. S. Diversity of medium and large-sized mammals at Atlantic Forest remnants in the south of Minas Gerais State, Brazil. **Check List**, v. 12, p. 1-7, 2016. Disponível em: <https://biotaxa.org/cl/article/view/12.5.1962>. Acesso em: 23 jun. 2016.

MACHADO, F. S.; MOURA, A. S.; SANTOS, K. K.; MENDES, P. B.; ABREU, T. C. K.; FONTES, M. A. L. Registros ocasionais de mamíferos de médio e grande porte na microrregião de Lavras e São João del-Rei, Campo das Vertentes, Minas Gerais. **Revista Agrogeoambiental**, v. 9, n. 1, p. 35-44, 2017. Disponível em: <https://200.131.173.22/index.php/Agrogeoambiental/article/view/930>. Acesso em: 23 jun. 2016.

MAFFEI, L.; CUELLAR, E.; NOSS, A. One thousand jaguars (*Panthera onca*) in Bolivia's Chaco Camera trapping in the Kaa-lya National Park. **Journal of Zoology**, v. 262, n. 3, p. 295–304, 2004. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/journal-of-zoology/article/one-thousand-jaguars-panthera-onca-in-bolivias-chaco-camera-trapping-in-the-kaaiya-national-park/03766879532F5684924B8F59D4BC53AD>. Acesso em: 23 jun. 2016.

MAFFEI, L.; NOSS, A.; CUELLAR, E.; RUMIZ, D. I. Ocelot (*Felis pardalis*) population densities, activity, and ranging behaviour in the dry forests of eastern Bolivia: data from camera trapping. **Journal of Tropical Ecology**, v. 21, n. 3, p. 349–353, 2005. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/journal-of-tropical-ecology/article/ocelot-felis-pardalis-population-densities-activity-and-ranging-behaviour-in-the-dry-forests-of-eastern-bolivia-data-from-camera-trapping/541E4FADCBADB9189491F98CB3BCB5FB>. Acesso em: 23 jun. 2016.

MICHALSKI, F.; NORRIS, D. Activity pattern of *Cuniculus paca* (Rodentia: Cuniculidae) in relation to lunar illumination and other abiotic variables in the southern Brazilian Amazon. **Zoologia**, v. 28, n. 6, p. 701–708, 2011. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1984-46702011000600002. Acesso em: 23 jun. 2016.

MORENO, A. S.; IRINEO, G. P. Abundancia de tepezcuintle (*Cuniculus paca*) y relación de su presencia con la de competidores y depredadores en una selva tropical. **Therya**, v. 4, n. 1, p. 89-98, 2013. Disponível em: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-33642013000100009&script=sci_arttext&tlng=en. Acesso em: 23 jun. 2016.

MYERS, N.; MITTERMEIER, A.; MITTERMEIER, C. G.; FONSECA, G. A. B.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, Londres, v. 403, n. 6772, p. 853-858, 2000. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/35002501>. Acesso em: 10 ago. 2016.

NASCIMENTO, V. L.; FERREIRA, J. A.; FREITAS, D. M.; SOUZA, L. L.; BORGES, A. L.; TOMAS, W. M. Período de atividade de alguns vertebrados do Pantanal, estimado por fotografia remota. In: SIMPÓSIO SOBRE RECURSOS NATURAIS E SÓCIO-ECONÔMICOS DO PANTANAL, 4., 2004, Corumbá. **Resumos...** Corumbá, 2004. Disponível em: http://www.academia.edu/17045752/Per%C3%ADodo_de_atividade_de_alguns_vertebrados_do_Pantanal_estimado_por_fotografia_remota. Acesso em: 23 jun. 2016.

NODARI, J. Z. **Padrão de atividade e segregação temporal entre mamíferos de médio e grande porte na Mata Atlântica**. 2016. 38 f. Dissertação (Mestrado em Biologia Animal), Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, 2016. Disponível em: http://repositorio.ufes.br/jspui/bitstream/10/9425/1/tese_9748_Dissertacao_Final20161227-173552.pdf. Acesso em: 2 dez. 2015.

NOSS, A. J.; KELLY, M. J.; CAMBLOS, H. B.; RUMIZ, D. I. Pumas y Jaguares Simpátricos: Datos de Trampas-Cámara en Bolivia y Belize. **Memorias: manejo de fauna silvestre en la Amazonía Y Latinoamérica**. p. 229-237, 2006. Disponível em: <http://www.mjkelly.info/Publications/Noss06Cats.pdf>. Acesso em: 2 dez. 2015.

OLIVEIRA-FILHO, A. T.; FLUMINHAN-FILHO, M. Ecologia da vegetação do Parque Florestal Quedas do Rio Bonito. **Cerne**, v. 5, n. 2, p. 51-64, 1999. Disponível em: <http://cerne.ufla.br/site/index.php/CERNE/article/download/525/452/>. Acesso em: 2 dez. 2015.

OLIVEIRA-SANTOS, L. G.; ZUCCO, R. C. A.; AGOSTINELLI, C. Using conditional circular kernel density functions to test hypotheses on animal circadian activity. **Animal Behaviour**, v. 85, n. 1, p. 269-280. Disponível em: <https://facfan.ufms.br/files/2015/09/Using-conditional-circular-kernel-density-functions-to-best-hypotheses-on-animal-circadian-activity.pdf>. Acesso em: 2 dez. 2015.

PAGLIA, A. P.; FONSECA, G. A.; RYLANDS, A. B.; HERRMANN, G.; AGUIAR, L. M.; CHIARELLO, A. G.; LEITE, Y. L. R.; COSTA, L. P.; SICILIANO, S.; KIERULFF, M. C. M.; MENDES, S. L.; TAVARES, V. C.; MITTERMEIER, R. A.; PATTON, J. L. Lista anotada dos mamíferos do Brasil. 2 ed. **Occasional papers in conservation biology**, v. 6, p. 76, 2012. Disponível em: https://web.conservation.org/global/brasil/publicacoes/Documents/annotated_checklist_of_brazilian_mammals_2nd_edition.pdf. Acesso em: 2 dez. 2015.

PAINE, R. T. Food web complexity of species diversity. **American Naturalist**, v. 100, p. 65-75. 1966. Disponível em: <https://www.journals.uchicago.edu/doi/abs/10.1086/282400>. Acesso em: 2 dez. 2015.

PEREIRA, A. D.; BASTIANI, E.; BAZILIO, S. Influência do ciclo lunar no padrão de atividade de *Cuniculus paca* (Rodentia: Cuniculidae) em uma floresta de Mata Atlântica no Sul do Brasil. **Papéis Avulsos de Zoologia**, São Paulo, v. 56, n. 8, p. 97-102, 2016. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/paz/v56n8/1807-0205-paz-56-08-97.pdf>. Acesso em: 2 dez. 2015.

PINHEIRO, J. P. C. **Uso e ocupação do hábitat e período diário de atividades de quatis (*Nasua nasua*) em fragmentos de floresta estacional semidecidual**. 2015. 35f. Dissertação (Pós-Graduação em Biologia Animal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2015. Disponível em: <http://www.locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/7513/texto%20completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 21 dez. 2016.

ROCHA, D. G. **Padrão de atividade e fatores que afetam a amostragem de mamíferos de médio e grande porte na Amazônia Central**. 2015. 83 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Amazonas, 2015. Disponível em: https://bdt.d.inpa.gov.br/bitstream/tede/1521/2/Dissertacao_%20Daniel%20Gomes%20Rocha.pdf. Acesso em: 21 dez. 2016.

SANTIAGO, W. T. V. **Ecologia de comunidades de mamíferos de médio e grande porte no estado do Tocantins, Brasil**. 2016. 137f. Tese (Doutorado em Biologia e Ecologia das Alterações Globais) – Universidade de Aveiro, Aveiro, 2016. Disponível em: https://ria.ua.pt/bitstream/10773/22362/1/TESE_Wagner_Santiago_aprovada_29112016.pdf. Acesso em: 21 dez. 2016.

SANTOS, K. K.; PACHECO, G. S. M.; PASSAMANI, M. Medium-sized and large mammals from Quedas do Rio Bonito Ecological Park, Minas Gerais, Brazil. **Check List**, Lavras, v. 12, n. 1, p. 1-8, 2016. Disponível em: <https://www.biotaxa.org/cl/article/view/12.1.1830>. Acesso em: 21 dez. 2016.

SCHAIK, C. P.; GRIFFITHS, M. Activity periods of Indonesian rain forest mammals. **Biotropica**, v. 28, n. 1, p. 105–112, 1996. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/2388775>. Acesso em: 21 dez. 2016.

SCHOENER, T. W. Resource partitioning in ecological communities. **Science**, v. 185, n. 4.145, p. 27-39, 1974. Disponível em: <https://science.sciencemag.org/content/185/4145/27>. Acesso em: 21 dez. 2016.

SRBEK-ARAUJO, A. C.; CHIARELLO, A. G. Is camera-trapping an efficient method for surveying mammals in Neotropical forests? A case study in south-eastern Brazil. **Journal of Tropical Ecology**, v. 21, p. 121-125, 2005. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/journal-of-tropical-ecology/article/is-cameratrapping-an-efficient-method-for-surveying-mammals-in-neotropical-forests-a-case-study-in-southeastern-brazil/5BDF54A5F75AAC4B38175CD1BFC8CEA1>. Acesso em: 22 dez. 2016.

SCOGNAMILLO, D.; MAXIT, I. E.; SUNQUIST, M.; POLISAR, J. Coexistence of jaguar (*Panthera onca*) and puma (*Puma concolor*) in a mosaic landscape in the Venezuelan llanos. **Journal of Zoology**, v. 259, n. 3, p. 269–279, 2003. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/journal-of-zoology/article/coexistence-of-jaguar-panthera-onca-and-puma-puma-concolor-in-a-mosaic-landscape-in-the-venezuelan-llanos/BE41AF68B2602CE634D6F82530497691>. Acesso em: 23 dez. 2016.

SRBEK-ARAUJO, A. C.; CHIARELLO, A. G. Is camera-trapping an efficient method for surveying mammals in Neotropical forests? A case study in south-eastern Brazil. **Journal of Tropical Ecology**, v. 21, p. 121-125, 2005. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/journal-of-tropical-ecology/article/is-cameratrapping-an-efficient-method-for-surveying-mammals-in-neotropical-forests-a-case-study-in-southeastern-brazil/5BDF54A5F75AAC4B38175CD1BFC8CEA1>. Acesso em: 24 dez. 2016.

SRBEK-ARAUJO, A. C.; CHIARELLO, A. Influence of camera-trap sampling design on mammal species capture rates and community structures in southeastern Brazil. **Biota Neotropica**, v. 13, p. 51-62, 2013. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1676-06032013000200051. Acesso em: 25 dez. 2016.

TOBLER, M. W.; CARRILO-PERCASTEGUI, S. E.; POWELL, G. Habitat use, activity patterns and use of mineral licks by five species of ungulate in south-eastern Peru. **Journal Tropical Ecology**, v. 25, n. 3, p. 261–270, 2009. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/journal-of-tropical-ecology/article/habitat-use-activity-patterns-and-use-of-mineral-licks-by-five-species-of-ungulate-in-southeastern-peru/93B7B67FA185E123F4057E48D778FBE1>. Acesso em: 26 dez. 2016.

VAUGHAN, T. A. **Mammalogy**. 3. ed. Saunders College Publishing, Fort Worth. 1986. P 343-346.

Histórico editorial

Submetido em: 22/11/2017

Aceito em: 28/03/2018



Descrição da mineralização do carbono de dejetos de suíno e palha de aveia no solo por modelos não lineares

Edilson Marcelino Silva¹

Thais Destefani Ribeiro Furtado²

Jaqueline Gonçalves Fernandes³

Joel Augusto Muniz⁴

Resumo

Uma forma viável para reciclagem dos resíduos de animais em confinamento é no manejo agrícola. As substâncias que compõem o resíduo orgânico altera a dinâmica de decomposição da matéria orgânica no solo. O conhecimento das curvas de mineralização do carbono permite buscar melhorias na qualidade do solo e conseqüentemente na produtividade das culturas. O Modelo Stanford & Smith é o mais usado para descrever a mineralização de C de resíduos orgânicos no solo. O Modelo Stanford & Smith considera que o resíduo orgânico é composto por substâncias que são mineralizadas exponencialmente. O Modelo Cabrera considera duas frações, uma composta por substâncias que são mineralizadas exponencialmente e outra composta por substâncias mais resistentes que são mineralizadas constantemente. Os dados analisados correspondem aos resultados de um experimento com palha de aveia, dejetos líquidos de suínos e cama sobreposta de suínos. Foram utilizados os Modelos Stanford & Smith e Cabrera, considerando estrutura de erros autorregressivos AR(1) quando necessário. Os ajustes foram comparados utilizando o critério de informação de Akaike (AIC). O Modelo Cabrera foi mais adequado para descrever a mineralização de carbono em quatro tratamentos (solo + dejetos líquidos incorporado, solo + palha em superfície + dejetos líquidos em superfície, solo + palha incorporada e solo + palha em superfície) e o Modelo Stanford & Smith foi melhor em três tratamentos (solo + palha incorporada + dejetos líquidos incorporado, cama sobreposta em superfície e cama sobreposta incorporada). Nenhum dos modelos descreveu o tratamento solo + dejetos líquidos na superfície.

Palavras-chave: Decomposição. Tempo de meia-vida. Modelo Stanford & Smith. Modelo Cabrera.

Introdução

A suinocultura é uma atividade econômica de alto potencial poluidor pela grande quantidade de resíduos gerada e apresenta, portanto, o importante desafio de reduzir o impacto do seu descarte para obtenção da sustentabilidade ambiental. Tendo em vista que a dieta suína é rica em proteína e outros produtos, os dejetos têm elevado potencial fertilizante, podendo ser utilizados como fonte

1 Universidade Federal de Lavras (UFLA), doutorando em Estatística e Experimentação Agropecuária. Lavras, Minas Gerais, Brasil. edilsonmg3@hotmail.com. Departamento de Estatística, Caixa Postal 37, Campus Universitário da UFLA, Lavras, Minas Gerais, CEP 37200-000.

2 UFLA, doutora em Estatística e Experimentação Agropecuária. t.destefani.ribeiro@gmail.com.

3 UFLA, doutoranda em Estatística e Experimentação Agropecuária. jacgonfer@gmail.com.

4 UFLA, professor titular. joamuniz@des.ufla.br.

de nutrientes para as plantas (FERNANDES et al. 2011; SILVA et al. 2015). Estudos mostram que, com aplicação de doses adequadas, os dejetos de suínos promovem incrementos na produção de matéria seca e produtividade de grãos (SILVA et al., 2015; PINTO et al., 2014). Assim, uma forma viável de reciclagem dos dejetos suínos é no manejo agrícola, o que exige conhecer seus efeitos na taxa de decomposição de resíduos culturais ao longo do tempo. Estudos relacionados à sustentabilidade de sistemas de produção agropecuária enfatizam a importância das práticas de manejo do solo e seus impactos nas propriedades biológicas e bioquímicas do solo (MERCANTE, 2001). A qualidade ambiental tem preocupado os pesquisadores e produtores rurais quanto aos resíduos que são produzidos, sendo a reciclagem estratégia para o aproveitamento racional e para a sustentabilidade da atividade (COSTA et al., 2009; SILVA; PINTO, 2010).

A decomposição de resíduos de origem vegetal e animal desempenha importante função na dinâmica da matéria orgânica (MO) e nas características biológicas, físicas e químicas do solo. A presença de MO pode acelerar a atividade dos microrganismos responsáveis pela decomposição e consequentemente a liberação dos minerais contidos no material. Nesse processo, parte do carbono é liberada na forma de dióxido de carbono (CO_2) e parte permanece inalterada, podendo se incorporar à biomassa microbiana (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

O CO_2 é o resultado final do metabolismo energético dos microrganismos, assim, a quantidade de CO_2 liberada do solo é utilizada como variável indicadora do estágio de decomposição e da atividade microbiana dos resíduos e MO do solo. Os valores de CO_2 obtidos nos experimentos ao longo do tempo constituem medidas repetidas e a utilização da análise de regressão para avaliação dos tratamentos neste caso é mais adequada que a comparação por teste de médias (PIMENTEL GOMES, 2000). No início da decomposição da MO, a quantidade de CO_2 liberada é maior, uma vez que o carbono das substâncias facilmente degradável é mineralizado. Com o passar do tempo, reduz-se a liberação de CO_2 devido à mineralização do carbono de substâncias mais resistentes (PULROLNIK, 2009). Esse comportamento pode ser descrito por equações matemáticas que se constituem em modelos não lineares.

Entre os modelos não lineares utilizados para a descrição do acúmulo de carbono mineralizado em solos ao longo do tempo, destaca-se o Stanford & Smith (1972). Diversos autores utilizaram esse modelo para estudar a dinâmica do carbono com resultados satisfatórios em pesquisa com lodo de esgoto (ANDRADE, et al., 2013; ANDRADE, et al, 2016), com cama de frango e biocarvão (ANDRADE, et al., 2015), com plantação de eucalipto (BARRETO, et al., 2010) e com espécies leguminosas (NUNES, et al., 2016). Outros trabalhos empregaram o Modelo Stanford & Smith em estudos com esterco animal (PAULA et al., 2013), dejetos de suínos (FERNANDES et al., 2011), lodo de curtume (MARTINES et al., 2006), trigo e palha (ZHOU et al., 2012). Os autores Alves et al. (1999) ajustaram os Modelos Stanford & Smith, Molina e Cabrera à mineralização de nitrogênio e carbono de vinte solos e observaram que os dois elementos químicos seguiram os mesmos padrões de mineralização. Sleutel et al. (2005) avaliaram o ajuste de cinco modelos não lineares na predição de carbono mineralizado, incluindo os Modelos Stanford & Smith e Cabrera a dados de mineralização de C de resíduos orgânicos e observaram que os modelos descreveram de forma satisfatória a dinâmica do C no solo. Silva et al. (2019) avaliaram os Modelos Stanford & Smith e Cabrera em estudo da mineralização do carbono de lodo de esgoto e palha de aveia no solo e obtiveram resultados satisfatórios.

Para dados acumulados em estudos de respiração na área de solos, como as mensurações são feitas na mesma parcela, as observações podem estar correlacionadas (HESS; SCHMIDT, 1995),

apresentando estruturas de dependência nos erros experimentais; segundo Fernandes et al. (2014), para obter ajuste adequado deve-se considerar a modelagem dessa correlação.

As substâncias que compõem o resíduo orgânico altera a dinâmica de decomposição da MO no solo. O Modelo Stanford & Smith considera que o resíduo orgânico é composto por substâncias que são mineralizadas exponencialmente. O Modelo Cabrera considera duas frações, uma composta por substâncias que são mineralizadas exponencialmente e outra composta por substâncias mais resistentes que são mineralizadas constantemente. A dinâmica de decomposição de resíduo no solo precisa ser avaliada para melhor manejo dos solos agrícolas. Assim, o objetivo do estudo foi descrever as curvas de mineralização do CO₂, com base na porcentagem de carbono mineralizado da palha de aveia e dejetos de suínos aplicados na superfície ou incorporados ao solo. Para isso, foi comparado o ajuste dos Modelos Stanford & Smith e Cabrera, estimando o tempo de meia-vida dos resíduos, considerando a incorporação ou não dos resíduos no solo.

Material e métodos

Os dados utilizados para o ajuste dos modelos foram extraídos de Giacomini et al. (2008) e correspondem aos resultados em média de um experimento que avaliou a mineralização do carbono (C) de quatro resíduos orgânicos na superfície ou incorporados ao solo. Os autores compararam os tratamentos em cada tempo pelo Teste de Tukey, representando as médias, sem ajustar modelos de regressão, que é a técnica mais adequada, principalmente para dados obtidos ao longo do tempo. Portanto o ajuste de modelos não lineares permitirá comparar os modelos que melhor descrevem os dados, além de possibilitar a estimativa do tempo de meia-vida, o que fornece informações úteis para os resultados.

O experimento foi realizado em laboratório. Um argissolo vermelho distrófico arênico da camada 0-10 cm de uma área que vinha sendo manejada em sistema plantio direto foi avaliado. O solo apresentou 18,0 g kg⁻¹ de matéria orgânica, 150,0 g kg⁻¹ de argila e pH em água de 5,2. Após a amostragem, o solo foi peneirado em malha de 4 mm e armazenado úmido em sacos plásticos, por treze dias antes da incubação, em temperatura ambiente.

A coleta da aveia foi feita no estádio de maturação fisiológica, submetida à secagem ao ar e armazenada em lugar seco até o momento da incubação. Antes da incubação, os grãos de aveia foram descartados. Os colmos e as folhas foram cortados em pedaços de 1,0 a 2,0 cm. Foi colocada uma subamostra do material vegetal em estufa a 65 °C, para obter a matéria seca e calcular a quantidade de palha seca ao ar por adicionar ao solo.

Os dejetos líquidos (DL) foram obtidos de uma esterqueira anaeróbia de uma unidade com animais de maternidade e recria. A cama sobreposta (CS) foi obtida após terem sido criados cinco lotes de suínos de terminação (15 meses) sobre uma cama de maravalha. A matéria seca dos dejetos foi determinada após a secagem desses em estufa a 65 °C até peso constante.

O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado, com quatro repetições e nove tratamentos, sendo estes: Solo (S) - Tratamento controle, Solo + Palha Incorporada (PInc), Solo + Palha em Superfície (PSup), Solo + Cama Sobreposta Incorporada (CSInc), Solo + Cama Sobreposta em Superfície (CSSup), Solo + Dejetos Líquidos Incorporados (DLInc), Solo + Dejetos Líquidos em Superfície (DLSup), Solo + Palha Incorporada + Dejetos Líquidos Incorporados (PInc+DLInc) e Solo + Palha em Superfície + Dejetos Líquidos em Superfície (PSup+DLSup). Para calcular a porcentagem de carbono mineralizado dos tratamentos com palha e com dejetos de suínos, foi realizada a diferença

entre os respectivos tratamentos e o tratamento controle, sendo assim, o tratamento controle não foi utilizado neste trabalho.

Amostras dos nove tratamentos foram incubadas em recipientes de acrílico. A quantidade de palha de aveia acrescida a cada frasco foi de 7,0 g kg⁻¹ de solo seco, equivalente a 2,8 Mg ha⁻¹ de palha. Os DLs e a CS foram adicionados nas proporções de 48,2 mL kg⁻¹ de solo seco (20 m³ ha⁻¹) e 31,5 g kg⁻¹ de solo seco (12,6 Mg ha⁻¹), respectivamente. A mineralização do C nos diferentes tratamentos foi avaliada por meio da emissão de CO₂ durante a incubação, medindo a porcentagem de carbono mineralizado sempre nas mesmas unidades experimentais aos 3, 5, 9, 14, 20, 25, 30, 35, 45, 55, 65 e 80 dias do início da incubação. O CO₂ liberado nos tratamentos nos diferentes tempos foi captado em 10 mL de uma solução de hidróxido de sódio na concentração 1 mol L⁻¹.

Avaliou-se o Modelo Stanford & Smith (1972) (Equação 1) e o Modelo Cabrera (1993) (Equação 2), reparametrizado por Zeviani et al. (2012).

$$C_t = C_0(1 - \exp(-kt)) + \varepsilon_t \quad (1)$$

$$C_t = C_f(1 - \exp(-\ln 2 \cdot t/v)) + k_0 t + \varepsilon_t \quad (2)$$

em que:

C_t : corresponde à porcentagem do carbono adicionado mineralizado até o tempo t (em dias);

C_0 : é o carbono potencialmente mineralizável;

k e k_0 : são taxas de mineralização;

C_f : carbono facilmente mineralizável;

v : tempo de meia-vida ($t_{1/2}$) do carbono facilmente mineralizável;

ε_t : é o erro experimental com média zero e variância σ^2 .

O tempo de meia-vida do carbono potencialmente mineralizável para o Modelo Stanford & Smith foi estimado pela equação:

$$t_{1/2} = \ln(2)/k \quad (3)$$

em que $t_{1/2}$ corresponde ao tempo gasto para mineralizar metade do carbono potencialmente mineralizável (ZEVIANI, et al., 2012), ou seja, quando metade do carbono orgânico é liberado como carbono inorgânico.

A análise dos erros estimados foi feita por meio dos testes: Shapiro-Wilk, para verificar o pressuposto de normalidade dos erros; Durbin Watson, para verificar a independência e o teste de Breusch-Pagan, para verificar a hipótese de que os erros experimentais são homocedásticos. Quando o teste de Durbin-Watson rejeitou a hipótese nula de que os erros experimentais são independentes, os erros do modelo foram considerados da seguinte maneira:

$$\varepsilon_t = \phi \varepsilon_{t-1} + \lambda_t \quad (4)$$

em que:

ϕ : é o parâmetro de autocorrelação de primeira ordem AR(1)

λ_t : é o ruído branco (MORETTIN; TOLOI, 2006).

Nos casos em que a suposição de normalidade foi atendida, não rejeitando a hipótese de que os erros são normalmente distribuídos $p > 0,05$, estimou-se o intervalo de confiança com 95% de probabilidade para os parâmetros dos modelos com base na equação 5:

$$IC(\theta) \Rightarrow \hat{\theta}_i \pm t_{(q; 0,025)} S(\hat{\theta}_i) \quad (5)$$

em que:

$\hat{\theta}_i$: estimativa do parâmetro do modelo

$t_{(q; 0,025)}$: valor na distribuição t-Student com $q = n - p$ graus de liberdade e área de 0,025 à sua direita

$S(\hat{\theta}_i)$: erro padrão da estimativa do parâmetro $\hat{\theta}_i$ obtido pela raiz quadrada do termo correspondente na diagonal da matriz de variância e covariância estimada.

Nos estudos com modelos não lineares, a estimação dos parâmetros é feita de maneira aproximada por métodos numéricos iterativos, pois não existe forma fechada para resolver o sistema de equações normais (DRAPER; SMITH, 2014). Entre os métodos iterativos, o de Gauss-Newton é o mais utilizado (PEREIRA et al., 2005; CARNEIRO et al., 2014; SILVEIRA et al., 2018; RIBEIRO et al., 2018; RIBEIRO et al., 2018). A estimação dos parâmetros foi feita pelo método dos mínimos quadrados generalizados, implementado na função `gnls` do pacote `nlme` (PINHEIRO et al., 2015) do software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2015).

A qualidade do ajuste foi avaliada pelo coeficiente de determinação ajustado (Equação 6):

$$R^2_{aj} = 1 - \frac{(n-i)(1-R^2)}{n-p} \quad (6)$$

em que:

n : número de observações utilizadas no ajuste do modelo

i : está relacionado ao intercepto do modelo, que é igual a 1 se houver intercepto e 0 em caso contrário

p : número de parâmetros

$R^2 = 1 - \frac{SQE}{SQT}$: coeficiente de determinação, sendo SQE a soma de quadrados dos erros e SQT a soma de quadrados total.

Quanto maior o valor do R^2_{aj} melhor o ajuste.

Pelo desvio padrão residual: $DPR = \sqrt{QME}$

$QME = \frac{SQE}{n-p}$: quadrado médio do erro. O DPR é proporcional ao quadrado médio do erro, por tanto menores valores indicam melhores ajustes.

A seleção do melhor modelo foi feita com base no critério de informação de Akaike (Equação 7):

$$AIC = -2 \ln L(\hat{\theta}) + 2p \quad (7)$$

em que:

$\ln L(\hat{\theta})$: valor do logaritmo natural da função de verossimilhança, considerando as estimativas dos parâmetros.

O AIC é proporcional ao quadrado médio do resíduo, sendo mais adequado o modelo que apresentar o menor valor (FERNANDES, et al., 2014).

Resultados e discussão

Na Tabela 1, são apresentados os resultados para a análise dos erros estimados dos Modelos Stanford & Smith e Cabrera, ajustados aos dados de mineralização do carbono no solo, com base nos testes de Durbin-Watson (DW), Shapiro-Wilk (SW) e Breusch-Pagan (BP). O Teste de SW foi significativo para os tratamentos PInc+DLInc e PSup quando ajustados os Modelos Stanford & Smith e Cabrera, respectivamente. Sendo assim, não foram considerados os intervalos de confiança para as estimativas dos parâmetros desses modelos, pois não é possível afirmar que os erros são normalmente distribuídos. Para os demais tratamentos e modelos, a pressuposição de normalidade foi corroborada pelo Teste de SW. Pelo Teste de BP, verificou-se que a hipótese de homogeneidade de variâncias foi rejeitada para o tratamento DLSup ($p < 0,05$), considerando o Modelo Stanford & Smith, deste modo, o modelo não foi considerado para descrever o tratamento.

Tabela 1. P-valores dos Testes de Shapiro-Wilk (SW), Durbin-Watson (DW) e Breusch-Pagan (BP) aplicados aos erros dos Modelos de Stanford & Smith e Cabrera e avaliadores de qualidade do ajuste, coeficiente de determinação ajustado (R_{aj}^2), desvio-padrão residual (DPR) e critério de informação de Akaike (AIC) para a porcentagem de carbono mineralizado, para os oito tratamentos.

Tratamento	Modelo	SW p-valor	DW p-valor	BP p-valor	R_{aj}^2	DPR	AIC
Solo + Dejetos Líquidos Incorporados	Stanford & Smith	0,1949	0,0040	0,0726	0,9769	2,4829	57,946
Solo + Dejetos Líquidos Incorporados	Cabrera	0,7362	0,0240	0,5534	0,9826	1,9595	55,492
Solo + Dejetos Líquidos em Superfície	Stanford & Smith	0,6020	0,0140	0,0419	0,9904	3,5389	46,811
Solo + Dejetos Líquidos em Superfície	Cabrera	0,5956	0,0120	0,6140	0,9912	1,5632	49,736
Solo + Palha Incorporada + Dejetos Líquidos Incorporados	Stanford & Smith	0,0284	0,0000	0,2359	0,9986	0,6822	29,100
Solo + Palha Incorporada + Dejetos Líquidos Incorporados	Cabrera	0,3698	0,0000	0,1867	0,9988	0,6790	26,000
Solo + Palha em Superfície + Dejetos Líquidos em Superfície	Stanford & Smith	0,9737	0,0100	0,4572	0,9973	0,8698	31,465
Solo + Palha em Superfície + Dejetos Líquidos em Superfície	Cabrera	0,2133	0,0720	0,5699	0,9984	0,6778	29,270
Solo + Palha Incorporada	Stanford & Smith	0,4719	0,0020	0,7130	0,9914	1,6933	44,773
Solo + Palha Incorporada	Cabrera	0,8633	0,2740	0,0851	0,9984	0,6994	30,020
Solo + Palha em Superfície	Stanford & Smith	0,0730	0,0460	0,3727	0,9943	1,2055	39,694
Solo + Palha em Superfície	Cabrera	0,0441	0,6600	0,3907	0,9988	0,5122	22,544
Solo + Cama Sobreposta Incorporada	Stanford & Smith	0,1890	0,9020	0,4039	0,9984	0,2876	7,956
Solo + Cama Sobreposta Incorporada	Cabrera	0,2365	0,8660	0,5703	0,9982	0,3015	9,827
Solo + Cama Sobreposta em Superfície	Stanford & Smith	0,4637	0,5600	0,1335	0,9950	0,5083	21,630
Solo + Cama Sobreposta em Superfície	Cabrera	0,3709	0,5400	0,1765	0,9949	0,5182	22,825

Fonte: Elaboração dos autores (2018).

Com o Teste de DW (TABELA 1), verifica-se que houve dependência nos erros para os tratamentos DLInc, DLSup e PInc+DLInc em ambos os modelos ajustados (Stanford & Smith e Cabrera) e também para PSup+DLSup, PInc e PSup com apenas o Modelo Stanford & Smith, ou seja, rejeita-se a hipótese de que os erros sejam independentes, e essa correlação foi considerada no estudo. Deste modo, foi apresentado ajuste com erros autorregressivos de primeira ordem AR(1) para explicar a dependência dos resíduos desses tratamentos. Hess e Schmidt (1995) observaram correlação nos erros para dados de respiração do solo. Pereira et al. (2005), na comparação de oito modelos não lineares para prever a quantidade de nitrogênio mineralizado no solo, obtiveram dependência residual para dois modelos e consideraram os erros autorregressivos de ordem AR(p) nos modelos ajustados.

A mineralização de carbono dos tratamentos nos dois modelos ajustados obteve valores de R_{aj}^2 superiores a 0,97, indicando bom ajuste aos dados. No ajuste de cinco modelos não lineares da mineralização de C de resíduos orgânicos, Sleutel et al. (2005) obtiveram valores de R_{aj}^2 superiores a 0,97 e observaram que os modelos descreveram os dados de forma satisfatória. O DPR apresentou valores menores para o Modelo Cabrera, indicando o melhor ajuste para esse modelo, exceto para os tratamentos CSInc e CSSup. De acordo com Sousa et al. (2014), quanto menor o valor do DPR, melhor é o ajuste, pois o avaliador é proporcional a SQE.

O valor predito de C mineralizado ao longo do tempo foi próximo para ambos os modelos, como pode ser visto nas Figuras 1 e 2, e o comportamento foi similar comparando os resíduos incorporados (FIGURA 1) e na superfície do solo (FIGURA 2). Para resíduos orgânicos, incorporado e na superfície do solo em campo, Paula et al. (2013) observaram que os resíduos incorporados não apresentaram crescimento abrupto na quantidade de C mineralizado, quando os resíduos foram dispostos sobre a superfície do solo. O comportamento similar em nosso estudo deve ser explicado pelo fato de o experimento ser realizado em laboratório, onde as condições do experimento são mais controladas e as medidas mais precisas.

Figura 1. Modelos ajustados da porcentagem de carbono mineralizado aos resíduos orgânicos incorporados ao solo em função do tempo de incubação.

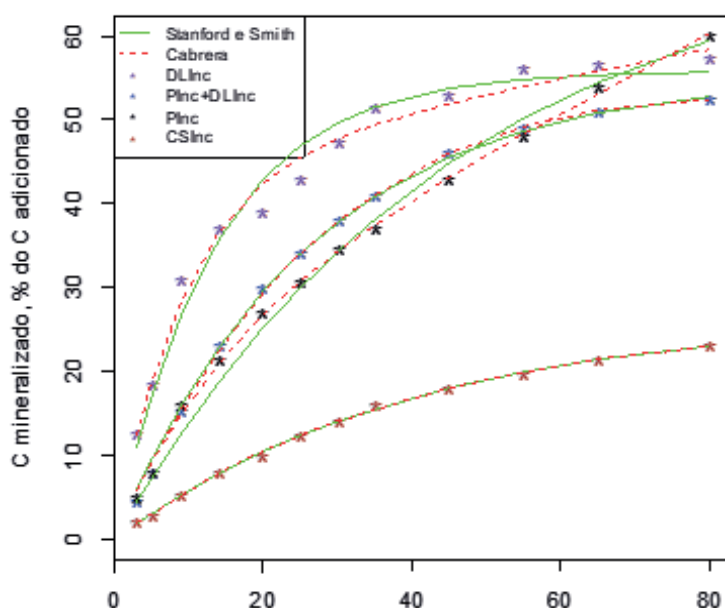
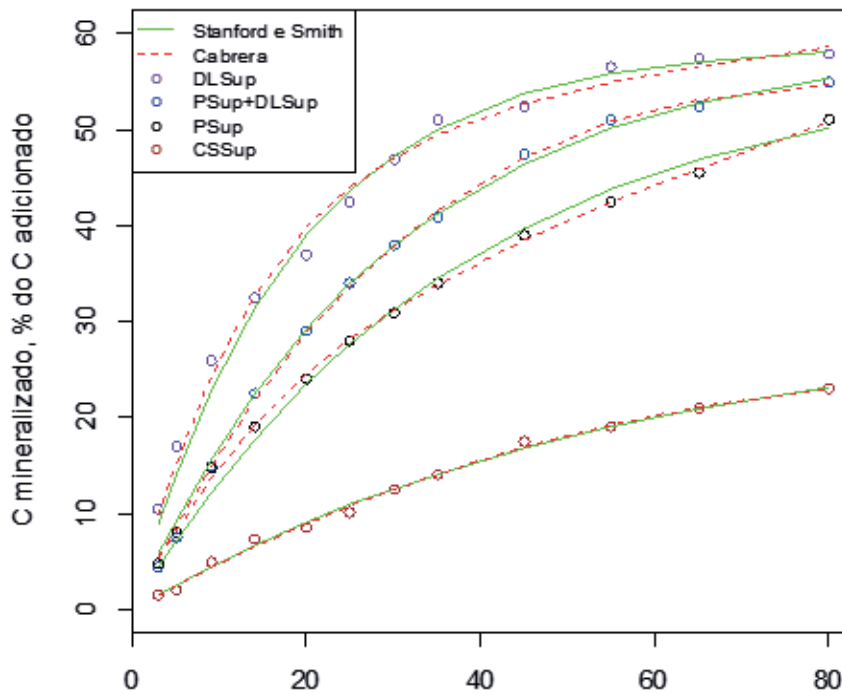


Figura 2. Modelos ajustados da porcentagem de carbono mineralizado aos resíduos orgânicos na superfície do solo em função do tempo de incubação.



Fonte: Elaboração dos autores (2018).

Observa-se na Tabela 2 que foram estimados valores negativos para o parâmetro k_0 , taxa de mineralização, nos tratamentos DLSup, Plnc+DLInc, CSInc e CSSup e que os intervalos de confiança contiveram o valor zero. Segundo Zeviani et al. (2012), esse resultado indica a subestimação de um valor paramétrico zero. Logo, esse resultado indica que o padrão de mineralização de C desses resíduos não apresentam duas frações de C mineralizáveis. O Modelo Stanford & Smith foi o mais adequado para descrever esses tratamentos, exceto para DLSup, para o qual esse modelo não atendeu ao pressuposto de homogeneidade de variância. Pode-se inferir que esses tratamentos têm substâncias que são mineralizadas exponencialmente. Nenhum dos dois modelos foram adequados para descrever o tratamento DLSup.

De acordo com Oliveira et al. (2013), o carbono potencialmente mineralizável (C_0) constitui um importante atributo, uma vez que pode ser utilizado para prever a disponibilidade de C em dado tempo. Os tratamentos CSInc e CSSup apresentaram menor porcentagem de C mineralizado se comparado aos demais tratamentos, pois não houve sobreposição no intervalo de confiança do parâmetro C_0 (TABELA 2) entre a CS e os demais tratamentos. Esse resultado corrobora os obtidos por Giacomini et al. (2008) ao final de 80 dias de incubação desses tratamentos, e esses autores relacionaram esse resultado à diferença na composição química dos materiais. A incorporação dos tratamentos ao solo não aumentou a porcentagem de C mineralizada presente nesses materiais, houve sobreposição entre o C_0 (TABELA 2) dos tratamentos incorporados e na superfície do solo. De acordo com Giacomini et al. (2008), esse resultado indica que os resíduos orgânicos apresentam uma fração do C que é de difícil decomposição, independentemente do contato entre o C dos resíduos e os microrganismos do solo.

O potencial de C mineralizado (C_0) (26,8 a 72,87 %) e as taxas de mineralização do C (k) (0,0172 a 0,0733 dia⁻¹) variaram entre os tratamentos, evidenciando dependência em relação ao tipo do resíduo orgânico incubado (TABELA 2). O maior valor de C_0 foi estimado para Plnc e os menores valores de C_0 para CSSup e CSInc ao solo. Paula et al. (2013), no estudo de cinco resíduos orgânicos incorporados e na superfície do solo no campo durante 360 dias, tiveram valores diferentes da taxa de mineralização (k) ajustando o Modelo Stanford & Smith, mostrando dependência do resíduo e da incorporação ou não do resíduo no solo. Da mesma maneira, Martines et al. (2006) encontraram valores diferentes de (k) quando aplicado lodo em solos com diferentes classes texturais. Comparando os intervalos de confiança do parâmetro C_0 para os tratamentos CSInc e CSSup, percebe-se que não houve diferença entre o carbono potencialmente mineralizável dos tratamentos, apesar de a taxa de mineralização do carbono da CSInc ser maior e, conseqüentemente, o tempo de meia-vida. Isso pode ser observado na Figura 3 pelo intervalo de confiança do tempo de meia-vida, pois não houve interseção.

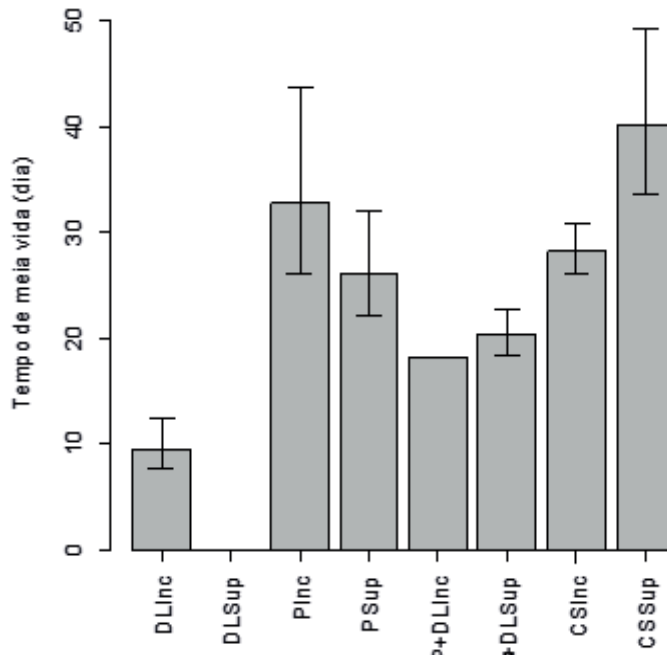
Tabela 2. Estimativas para os parâmetros dos Modelos Stanford & Smith e Cabrera, tempo de meia-vida ($t_{1/2}$) e seus respectivos intervalos de confiança assintóticos de 95% (LI – limite inferior e LS – limite superior), no ajuste da porcentagem de carbono mineralizado dos tratamentos.

	Stanford & Smith				Cabrera		
	LI	estimativa	LS		LI	estimativa	LS
Solo + Dejetos Líquidos Incorporados							
C_0	51,8833	55,8138	59,7443	C_1	37,1333	44,4690	51,8587
k	0,0558	0,0733	0,0908	v	4,6077	6,6868	8,7659
ϕ	-0,0014	0,5787	1,1588	k_0	0,0537	0,1759	0,2981
$t_{1/2}$	7,6	9,5	12,4	ϕ	-0,3658	0,3615	1,0888
Solo + Dejetos Líquidos em Superfície							
C_0	58,2791	58,8790	59,4780	C_1	39,4991	49,7821	60,0651
k	0,0504	0,0543	0,0583	v	6,8866	9,8597	12,8328
ϕ	-0,0872	0,5011	1,0895	k_0	-0,0343	0,1129	0,2602
$t_{1/2}$	11,9	12,8	13,8	ϕ	-0,3541	0,3930	1,1401
Solo + Palha Incorporada							
C_0	63,3118	72,8781	82,4445	C_1	19,4944	23,1886	28,9643
k	0,0158	0,0212	0,0266	v	7,6312	9,8811	13,1490
ϕ	0,1316	0,7641	1,3967	k_0	0,3854	0,4651	0,5230
$t_{1/2}$	26,1	32,7	43,8				
Solo + Palha em Superfície							
C_0	52,0159	57,0409	62,0658	C_1	22,6698	26,5450	32,2808
k	0,0217	0,0265	0,0314	v	9,6029	11,8086	14,8078
ϕ	-0,3205	0,6438	1,6081	k_0	0,2333	0,3073	0,3629
$t_{1/2}$	22,1	26,1	32,0				
Solo + Palha Incorporada + Dejetos Líquidos Incorporados							
C_0	52,9276	55,5267	58,1258	C_1	43,6873	70,8529	98,0185
k	0,0333	0,0380	0,0428	v	14,9284	22,7089	30,4894
ϕ	0,0473	0,6658	1,2843	k_0	-0,4047	-0,1526	0,0995
$t_{1/2}$	16,2	18,2	20,8	ϕ	-0,0521	0,5801	1,2124

	Stanford & Smith				Cabrera		
	LI	estimativa	LS		LI	estimativa	LS
Solo + Palha em Superfície + Dejetos Líquidos em Superfície							
C_0	56,6644	59,3018	61,9392	C_1	61,6897	92,4257	174,0935
k	0,0304	0,0340	0,0376	v	21,2645	29,4254	45,8067
ϕ	-0,1505	0,5096	1,1697	k_0	-0,8545	-0,2961	-0,0181
$t_{1/2}$	18,4	20,4	22,8				
Solo + Cama Sobreposta Incorporada							
C_0	25,7004	26,8000	28,0455	C_1	17,5380	29,4998	88,0363
k	0,0226	0,0246	0,0266	v	19,2540	30,2711	62,7230
$t_{1/2}$	26,1	28,2	30,7	k_0	-0,3628	-0,0222	0,0934
Solo + Cama Sobreposta em Superfície							
C_0	27,8735	31,0525	35,4300	C_1	-943,2921	134,5774	1212,4469
k	0,0141	0,0172	0,0206	v	-347,7380	98,1410	482,2150
$t_{1/2}$	33,7	40,2	49,2	k_0	-3,3426	-0,4386	2,4654

Fonte: Elaboração dos autores (2018).

Figura 3. Tempo de meia-vida do carbono potencialmente mineralizável considerando o Modelo Stanford & Smith dos resíduos orgânicos incubados por 80 dias. As barras verticais indicam o intervalo de confiança para o tempo de meia-vida.



Fonte: Elaboração dos autores (2018).

O tempo de meia-vida do carbono potencialmente mineralizável, considerando o Modelo Stanford & Smith, variou de um resíduo orgânico para outro. Para os tratamentos PInc+DLInc, CSSup e CSInc, o Modelo Stanford & Smith foi mais adequado e os tempos de meia-vida do carbono potencialmente mineralizável foram de 18,2; 28,2 e 40,2 dias, respectivamente (TABELA 2). A maior mineralização do C no início da incubação se deve ao consumo do carbono facilmente degradável, remanescendo no solo frações orgânicas menos susceptíveis à decomposição (PULROLNIK, 2009),

esse comportamento foi observado por diversos autores (ANDRADE, et al. 2015; FERNANDES, et al. 2011; MANTOVANI, et al., 2006).

De acordo com o AIC (TABELA 1), para os tratamentos DLInc, PSup+DLSup, Plnc e PSup, foram obtidos menores valores para o Modelo Cabrera, sendo esse o indicado para descrever o fenômeno estudado. Deste modo, pode-se afirmar que os tratamentos DLInc, PSup+DLSup, Plnc e PSup tiveram substâncias de carbono mineralizáveis com comportamento exponencial e substâncias mais resistente, com mineralização constante. Comparando os intervalos de confiança do parâmetro C_1 (TABELA 2) para os tratamentos Plnc e PSup, percebe-se que houve interseção, indicando que não há diferença entre o carbono facilmente mineralizável da palha incorporada ou na superfície do solo. Por outro lado, comparando os intervalos de confiança do parâmetro k_0 , pode-se ver que não houve interseção no intervalo de confiança, indicando que a mineralização do carbono mais resistente da palha dá-se mais rapidamente com a palha incorporada ao solo. Esse resultado está de acordo com os obtidos por Campos et al. (2011), pois observaram que a taxa de mineralização do carbono de resíduos de aveia em campo foi maior no preparo convencional do que no plantio direto.

Os tempos de meia-vida do carbono facilmente mineralizável, considerando o Modelo Cabrera, para os tratamentos DLInc, PSup+DLSup, Plnc e PSup foram de 6,6; 29,4; 9,8 e 11,8 dias, respectivamente (TABELA 2).

Conclusões

De modo geral, a mineralização do carbono de dejetos de suínos e palha de aveia, ao longo do tempo, foi descrita pelos modelos não lineares de Cabrera e Stanford & Smith.

O Modelo Cabrera foi mais adequado para detalhar a mineralização do carbono nos quatro tratamentos (solo + dejetos líquidos incorporado, solo + palha em superfície + dejetos líquidos em superfície, solo + palha incorporada e solo + palha em superfície), indicando que esses tratamentos apresentaram substâncias de carbono mineralizáveis com comportamento exponencial e substâncias mais resistentes, com mineralização constante. O tempo de meia-vida do carbono facilmente mineralizável desses tratamentos foi de 6,6; 29,4; 9,8 e 11,8 dias, respectivamente.

O Modelo Stanford & Smith foi melhor na descrição da mineralização do carbono em três tratamentos (solo + palha incorporada + dejetos líquidos incorporado, cama sobreposta em superfície e cama sobreposta incorporada), sugerindo que esses tratamentos apresentaram apenas substâncias que são mineralizadas exponencialmente. O tempo de meia-vida do carbono potencialmente mineralizável desses tratamentos foi de 18,2; 28,2 e 40,2 dias.

Nenhum dos dois modelos descreveu adequadamente a mineralização do carbono no tratamento solo + dejetos líquidos na superfície.

Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de mestrado, concedida ao primeiro autor.

Description of the carbon mineralization of swine manure and oat straw in the soil through nonlinear models

Abstract

Agricultural management is a viable way for recycling animal residues in feedlots. The substances that make up organic residues change the dynamics of the organic matter decomposition in the soil. Information on carbon mineralization curves allows seeking improvements in soil quality and, consequently, in crop productivity. The Stanford & Smith Nonlinear Model is the most used to describe C mineralization of organic residues in the soil. This model considers organic residues are composed of substances that are mineralized exponentially. The Cabrera Model considers two fractions, one composed of substances that are mineralized exponentially and other composed of more resistant substances with constant mineralization. The objective of this work was to compare nonlinear models that describe carbon mineralization, considering residues on surface or incorporated into the soil. The data evaluated were from an experiment with oat straw, liquid swine manure, and swine litter bedding. The Stanford & Smith and Cabrera Models were used considering structure of first order autoregressive errors - AR(1), when necessary. The fittings were compared using the Akaike Information Criterion (AIC). The Cabrera Model was more adequate to describe C mineralization in four treatments (soil + incorporated liquid swine manure; soil + oat straw on surface + liquid swine manure on surface; soil + incorporated straw; and soil + straw on surface). The Stanford & Smith Model was better in three treatments (soil + incorporated straw + incorporated liquid swine manure; swine litter bedding on surface; and incorporated swine litter bedding). None of the models described the treatment soil + liquid swine manure on surface.

Keywords: Decomposition. Half-life. Stanford & Smith Model. Cabrera Model.

Referências

ALVES, G. D.; SAMPAIO, E. V. S. B.; SALCEDO, I. H.; SILVA V. M. Mineralization potential of C and N in twenty soils from Pernambuco, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, n. 2, p. 245-256, 1999. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v23n2/08.pdf>>. Acesso em: 06 set. 2015.

ANDRADE, C. A.; SILVA, L. F. M.; PIRES, A. M. M.; COSCIONE, A. R. Mineralization of carbon and nitrogen in soil after successive applications of sewage sludge. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 5, p. 536-544, 2013. DOI:10.1590/S0100-204X2013000500010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2013000500010&lng=pt&nrm=i>. Acesso em: 11 fev. 2017.

ANDRADE, C. A.; BIBAR, M. P. S.; COSCIONE, A. R.; PIRES, A. M. M.; SOARES, A. G. Mineralization and effects of poultry litter biochar on soil cation exchange capacity. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 5, p. 407-416, 2015. DOI:10.1590/S0100-204X2015000500008 Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-204X20150005000407&script=sci_abstract>. Acesso em: 06 set. 2017.

ANDRADE, L. C.; ANDREAZZA, R.; CAMARGO, F. A. O. Soil microbial activity under wastewater treatment plant sludge doses from an industrial landfill. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 46, n. 2, p. 267-272, 2016. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-84782015005040871&script=sci_abstract>. Acesso em: 06 set. 2017.

BARRETO, P. A. B.; RODRIGUES, E. F. G.; RODRIGUES, A. C. G.; BARROS, N. F.; ALVES, B. J. R.; FONSECA, S. Carbon and nitrogen mineralization in soils under an eucalyptus plantation chronosequence. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 3, p. 735-745, 2010. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/262651835_Carbon_and_nitrogen_mineralization_in_soils_under_an_eucalyptus_plantation_chronosequence>. Acesso em: 06 set. 2017.

CABRERA, M. L. Modeling the flush of nitrogen mineralization caused by drying and rewetting soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 57, n. 1, p. 63-66, 1993.

CAMPOS, B. C.; AMADO, T. J. C.; TORNQUIST, C. G.; NICOLOSO, R. S.; FIORIN, J. E. Long-term C-CO₂ emissions and carbon crop residue mineralization in an oxisol under different tillage and crop rotations systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 3, p. 819-832, 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832011000300017>. Acesso em: 06 set. 2017.

CARNEIRO, A. P. S.; MUNIZ, J. A.; CARNEIRO, P. L. S.; MALHADO, C. H. M. M.; MARTINS FILHO, R.; SILVA, F. F. Identity of nonlinear models to compare growth curves of the cattle breed Tabapuã. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, n. 1, p. 57-62, 2014. DOI: 10.1590/S0100-204X2014000100008. Disponível em: <<https://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/view/18183>>. Acesso em: 04 ago. 2017.

COSTA, M. S. S. M.; COSTA, L. A. M.; DECARLI, L. D.; PELÁ, A.; SILVA, C. J.; MATTER, U. F.; OLIBONE, D. Composting of slaughterhouse solid waste. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 1, p. 100-107, 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1415-43662009000100015&lng=en&nrm=1&tlng=en>. Acesso em: 06 set. 2017.

DRAPER, N. R.; SMITH, H. **Applied regression analysis**. 3. ed., reprint. New York: J. Wiley, p. 505-565, 2014.

FERNANDES, A. H. B. M. F.; CARDOSO, M. A.; SOUZA, R. A. C.; FERNANDES, F. A.; SOARES, M. T. S.; CRISPIM, S. M. A.; GALVANI, F.; LISITA, F. O. **Nitrificação e mineralização de carbono em solos tratados com dejetos de suínos biodigeridos**. Corumbá, MS: Embrapa Pantanal, p. 1-15, 2011.

FERNANDES, T. J.; PEREIRA, A. A.; MUNIZ, J. A.; SAVIAN, T. V. Selection of nonlinear models for the description of the growth curves of coffee fruit. **Coffee Science**, v. 9, n. 2, p. 207-215, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.25186/cs.v9i2.618>>. Acesso em: 5 mar. 2017.

GIACOMINI, S. J.; AITA, C.; MIOLA, E. C. C.; RECOUS, S. Carbon mineralization of straw and pig manure with and without incorporation in soil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. special, p. 2661-2668, 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832015000501428&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 29 jan. 2017.

HESS, T. F.; SCHMIDT, S. K. Improved procedure for obtaining statistically valid parameter estimates from soil respiration data. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 27, n. 1, p. 1-7, 1995. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/003807179400166X>>. Acesso em: 28 nov. 2016.

MANTOVANI, J. R.; FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P.; BARBOSA, J. C.; FREIRIA, A. C. Carbon and nitrogen mineralization in an ultisol fertilized with urban waste compost. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 4, p. 677-684, 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832006000400008>. Acesso em: 06 set. 2017.

MARTINES, A. M.; ANDRADE, C. A.; CARDOSO, E. J. B. N. Mineralization of the organic carbon in soils treated with tannery sludges. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 7, p. 1149-1155, 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2006000700011&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 28 nov. 2016.

MERCANTE, F. M. **Os microorganismos do solo e a dinâmica da matéria orgânica em sistemas de produção de grãos e pastagem**. Dourados, MS: Embrapa Agropecuária Oeste, p. 1-14, 2001.

MOREIRA, F. M. S, SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e Bioquímica do Solo**. 2. ed. Lavras: Editora da UFLA, p. 1-729, 2006.

MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. M. C. **Análise de séries temporais**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, p. 110-119, 2006.

NUNES, D. A. D.; RODRIGUES, E. F. G.; BARRETO, P. A. B.; RODRIGUES, A. C. G.; MONROE, P. H. M. Carbon and nitrogen mineralization in soil of leguminous trees in a degraded pasture in northern Rio de Janeiro, Brazil. **Journal of Forest Research**, v. 27, n. 1, p. 91-99, 2016. DOI: 10.1007/s11676-015-0164-3. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s11676-015-0164-3#citeas>>. Acesso em: 06 set. 2017.

OLIVEIRA, W. J.; SILVA, C. A.; MUNIZ, J. A.; SAVIAN, T. V. Nitrogen mineralization in latosols fertilized with organic residues. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 3, p. 715-725, 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-06832013000300018&script=sci_abstract>. Acesso em: 06 set. 2017.

PAULA, J. R.; MATOS, A. T.; MATOS, M. P.; PEREIRA, M. S.; ANDRADE, C. A. Carbon and nitrogen mineralization of wastes applied to soil under field conditions. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 6, p. 1729-1741, 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832013000600029&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 12 nov. 2017.

PEREIRA, J. M.; MUNIZ, J. A.; SILVA, C. A. Nonlinear models to predict nitrogen mineralization in an oxisol. **Scientia Agricola**, v. 62, n. 4, p. 395-400, 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-90162005000400014&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 06 set. 2017.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de Estatística Experimental**. 14. ed. Editora F. Pimentel-Gomes, p. 1-451, 2000.

PINHEIRO, J.; BATES, D.; DEBROY, S.; SARKAR, D. nlme: linear and nonlinear mixed effects models. **R package version 3**. p. 1-122. 2015. Disponível em: <[URL:http://CRAN.R-project.org/package=nlme](http://CRAN.R-project.org/package=nlme)>. Acesso em: 10 fev. 2016.

PINTO, M. A.; FABBRIS, C.; BASSO, C. J.; SANTI, A. L.; GIROTTO, E. Swine slurry application and soil management on double-cropped oat/maize. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 44, n. 2, p. 205-212, 2014. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1983-40632014000200002>. Acesso em: 06 set. 2017.

PULROLNIK, K. **Transformações do carbono no solo**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, p. 1-36, 2009.

R CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing Viena: 2015. Disponível em: <http://www.r-project.org>.

RIBEIRO, T. D.; MATTOS, R. W. P.; MORAIS, A. R.; MUNIZ, J. A. Description of the growth of Pequi fruits by nonlinear models. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 40, n. 4, p. 1-11, 2018. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-29452018000400705>. Acesso em: 20 dez. 2018.

RIBEIRO, T. D.; SAVIAN, T. V.; FERNANDES, T. J.; MUNIZ, J. A. The use of the nonlinear models in the growth of pears of “Shinseiki” cultivar. **Ciência Rural**, v. 48, n. 1, p. 1-7, 2018. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782018000100202>. Acesso em: 20 dez. 2018.

SILVA, A. A.; LANA, A. M. Q.; LANA, R. M. Q.; COSTA, A. M. Fertilization with swine waste manure: the influence of chemical characteristics in *Brachiaria Decumbens* and changes in the soil. **Engenharia Agrícola**, v. 35, n. 2, p. 254-265, 2015. DOI:10.1590/1809-4430. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162015000200254>. Acesso em: 06 set. 2017.

SILVA, B. V. N.; ANDRADE PINTO, L. V.; Potential use of the sewage sludge as organic manuring in covering forestation native arboreal species planted in area degraded by intensive pasturing. **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre, v. 2, n. 1, p. 50-56, abril, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.18406/2316-1817v2n12010251>>. Acesso em: 18 mar. 2017.

SILVA, E. M.; SILVEIRA, S. C.; RIBEIRO, T. D.; MUNIZ, J. A. Adjustment of the decomposition of sewage sludge and oat straw by nonlinear models. **Revista Agrogeoambiental**, v. 11, n. 2, 2019.

SILVEIRA, S. C.; MUNIZ, J. A.; SOUSA, F. A.; CAMPOS, A. T. Non-linear models adjusted to the accumulated production of biogas originating from swine deep bedding. **Revista Agrogeoambiental**, v. 10, n. 3, p. 91-103, 2018. Disponível em: <<https://agrogeoambiental.ifsuldeminas.edu.br/index.php/Agrogeoambiental/article/view/1168/pdf>>. Acesso em: 26 nov. 2018.

SLEUTEL, S.; NEVE, S.; ROIBÁS, M. R. P.; HOFMAN, G. The influence of model type and incubation time on the estimation of stable organic carbon in organic materials. **European Journal of Soil Science**, v. 56, n. 4, p. 505-514, 2005. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1365-2389.2004.00685.x>>. Acesso em: 23 nov. 2016.

SOUSA, I. F.; KUNZLE, J. E.; MUNIZ, J. A.; GUIMARÃES, R. M.; SAVIAN, T. V.; MUNIZ, F. R. Fitting nonlinear autoregressive models to describe coffee seed germination. **Ciência Rural**, v. 44, n. 11, p. 2016-2021, 2014. DOI: 10.1590/0103-8478cr20131341. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782014001102016>. Acesso em: 06 set. 2017.

STANFORD, G.; SMITH, S. J. Nitrogen mineralization potentials of soil. **Soil Science Society of America Journal**, v. 36, n. 3, p. 465-471, 1972.

ZEVIANI, W. M.; SILVA, C. A.; OLIVEIRA, W. J.; MUNIZ, J. A. Non linear models to potassium release from animals manure in Latosols. **Ciência Rural**, v. 42, n.10, p. 1789-1796, 2012. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782012001000012&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 23 nov. 2016.

ZHOU, X.; CHEN, C.; LU, S.; RUI, Y.; WU, H.; XU, Z. The short-term cover crops increase soil labile organic carbon in southeastern Australia. **Biology and Fertility of Soils**, v. 48, n. 2, p. 239-244, 2012. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s00374-011-0594-9>>. Acesso em: 06 set. 2017.

Histórico editorial

Submetido em: 22/01/2018

Aceito em: 12/04/2018



Teor de proteína bruta em cultivares de *Urochloa* em sistema de pastagem exclusiva ou consorciadas com *Macrotyloma axillare* cv. Guatá

Thiago Rossi Simões¹

Käthery Brennecke²

Liandra Maria Abaker Bertipaglia³

Luciana Gerdes⁴

Resumo

Objetivou-se com este trabalho avaliar o teor de proteína bruta de cultivares de *Urochloa* spp. (*U. brizantha* cv. Marandu e *U. decumbens* cv. Basilisk) dentro de um sistema de consórcio com *Macrotyloma axillare* cv. Guatá. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com quatro repetições, em esquema fatorial (2 x 2), em que foram estudados dois capins (*U. decumbens* e *U. brizantha*) e dois tipos de pastagens (consorciadas ou exclusivas adubadas com 60 kg de nitrogênio/ha), com medidas repetidas no tempo (amostragens em duas épocas do ano: fevereiro (verão) e agosto (inverno)). Posteriormente, amostras foram coletadas de um cano de PVC com 2 m de comprimento em quatro pontos de cada piquete, e a forragem cortada rente ao solo, com roçadeira costal acoplada com podador de cerca-viva de 0,5 m de comprimento, correspondendo a 0,5 x 2,0 m (1m² amostrado) para cada amostra. O material amostrado foi identificado, pesado e enviado para análise do teor de proteína bruta para avaliar a contribuição da leguminosa nos teores de proteína do capim. Não foram encontradas diferenças significativas quanto à interação tipo de capim vs. tipo de pasto para a variável proteína bruta, porém foram encontradas diferenças significativas quando avaliada a interação tipo de capim vs. época do ano, os maiores teores foram encontrados dentro do mês de fevereiro (verão), o que também ocorreu para a interação tipo de capim vs. época do ano. Concluiu-se que houve incrementos no teor de proteína bruta na *U. decumbens* cv. Basilisk e na *U. brizantha* cv. Marandu quando em consórcio com o *M. axillare* cv. Guatá no período do verão. **Palavras-chave:** Forrageira. Leguminosa. Nitrogênio biológico. Qualidade de forragem.

Introdução

A pecuária brasileira conquistou avanços significativos nas últimas décadas, e o Brasil está entre um dos maiores produtores e exportadores de carne bovina no mundo; de acordo com o Anuário DBO (2017), em 2015 o rebanho bovino brasileiro possuía cerca de 215 milhões de cabeças, criadas predominantemente a pasto, é o segundo maior do mundo. Em 2017, o rebanho bovino brasileiro era de 221,81 milhões de cabeças (ABIEC, 2018).

No entanto, uma questão importante verificada na produção das forrageiras é a variação na disponibilidade de forragem ao longo do ano, conhecida como estacionalidade de produção; a

1 Universidade Brasil/Programa de Mestrado em Produção Animal, discente. rossisimoes@hotmail.com.

2 Universidade Brasil/Programa de Mestrado em Produção Animal, docente. katherybr@yahoo.com.br. Departamento de Produção Animal. Avenida Hilário da Silva Passos, 950, Parque Universitário, Descalvado, SP 13690-000, Brasil.

3 Universidade Brasil/Programa de Mestrado em Produção Animal, docente. liandramab@gmail.com.

4 Instituto de Zootecnia, pesquisadora científica. lucianagerdes@yahoo.com.br.

produção concentrada de forragens no período das chuvas e na estação da seca pouco oferta e quando oferta uma grande quantidade, nessa época, as forragens são de qualidade inferior (SILVA; SALIBA, 2007; CARVALHO; PIRES, 2008).

A produção de forragem em solos tropicais, normalmente, ocorre em solos com características de alto grau de intemperismo, baixa fertilidade natural e alta capacidade de fixação do fósforo e, segundo Paulino et al. (2008), para torná-los sustentáveis é necessária interferência antrópica com aporte de insumos externos, que consistem em fornecer os nutrientes necessários às plantas em quantidade e qualidade recomendada, sendo aplicadas em períodos de melhor aproveitamento ou necessidade das plantas.

O nitrogênio (N), muito usado na manutenção de pastagens pelo seu caráter determinante da produção, proporcionando maximização da massa seca de forragem e, como consequência, maior lotação e maior produção de carne por hectare (WERNER et al., 2001), além de ser um constituinte essencial de proteínas que interfere diretamente no processo fotossintético por meio de sua participação na molécula de clorofila, é um dos principais nutrientes para a intensificação da produtividade das pastagens. Sua falta ou disponibilização frequente acarretará redução na produção do pasto, iniciando o processo de degradação (MEIRELLES, 1993). A grande dificuldade decorre do fato de o N ser um elemento altamente reativo, estando sujeito a diversas transformações no solo e nas plantas (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Na tentativa de minimizar os custos de produção e os impactos ambientais decorrentes do uso de fertilizantes nitrogenados, uma alternativa ecologicamente correta e sustentável é o uso de consórcio entre leguminosas e gramíneas dentro do sistema de produção, em que as leguminosas fixam nitrogênio e acabam por funcionar como fontes de incorporação deste nutriente às gramíneas (WERNER et al., 2001).

Carvalho e Pires (2008) comentam que em um sistema de pastagens os nutrientes mais limitantes são fósforo e nitrogênio, e aplicações com fontes nitrogenadas na pastagem minimizam problemas quantitativos e qualitativos na produção de pastagens, visto que o nitrogênio pode ser introduzido ao sistema por duas vias: introdução de leguminosas forrageiras consorciadas à pastagem ou com a aplicação de nitrogênio mineral.

O uso de nitrogênio na forma de fertilizantes nitrogenados, além de ser uma prática pouco difundida, é uma prática economicamente inviável, e o uso de leguminosa em pastagens tropicais torna-se uma estratégia eficiente e barata de introdução do nitrogênio ao sistema.

Segundo Paulino et al. (2008), as décadas de 70 e 80 marcaram o Brasil por ter sido a fase de maior número de pesquisas envolvendo o sistema de consórcio, com ênfase aos gêneros *Stylosanthes*, *Glycine Galactia*, *Macrotyloma* e *Calopogônio*, porém, nessa época, a maioria dos experimentos foi realizada em casas de vegetação, com leguminosas sendo estabelecidas em cultivo exclusivo e quando foram direcionadas à consorciação, o foco era predominantemente entre plantas que possuíam compatibilidade entre as espécies envolvidas.

Diante do exposto, justifica-se este trabalho, do qual a finalidade foi quantificar o valor de Proteína Bruta (PB) de cultivares de *Urochloa* spp. (*U. brizantha* cv. Marandu e *U. decumbens* cv. Basilisk) em pastagem exclusiva ou com sistema de consórcio com *Macrotyloma axillare* cv. Guatá em duas épocas do ano (verão e inverno).

Materiais e métodos

O experimento foi conduzido no Polo Regional de Desenvolvimento Tecnológico dos Agronegócios do Centro-Oeste – APTA-SAA, na unidade de pesquisa de Brotas (SP). O município de Brotas está localizado a 22°16' de Latitude Sul e 48°70' de Longitude Oeste, com altitude de 650 metros e possui clima subtropical do tipo Cwa (verão quente, chuvoso e inverno seco) de acordo com a classificação de Köppen. Foram avaliadas a *U. brizantha* cv. Marandu e *U. decumbens* cv. Basilisk utilizadas há cerca de 20 anos em outros projetos de pesquisas.

O solo da área experimental foi classificado como Neossolo Quartzarênico distrófico (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 2006), contendo em média 9 % de argila, 33 % de areia fina, 57 % de areia grossa e 1 % de limo.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com quatro repetições, em esquema fatorial (2x2), em que foram estudados dois capins (*U. decumbens* e *U. brizantha*) e dois tipos de pastagens (consorciadas ou exclusivas adubadas com 60 kg de nitrogênio ha⁻¹), com medidas repetidas no tempo (amostragens em duas épocas do ano: fevereiro (verão) e agosto (inverno)).

Ambas as pastagens foram manejadas com a altura do dossel forrageiro por volta de 30 cm em sistema de lotação contínua com taxa de lotação variável (*put and take*).

A escolha dos animais a serem colocados na área, ao todo 45, foi baseada na similaridade de peso, idade e padrão racial. Portanto, o pastejo foi efetuado com bovinos machos recém desmamados da raça Nelore, de peso e idade iniciais de aproximadamente 150 kg e 12 meses, respectivamente.

Foi aplicada, para ambos os pastos, adubação de manutenção, segundo o Boletim 100 (RAIJ et al., 1997).

Foi aplicada, nos tratamentos de pastagens exclusivas a lanço, uma mistura de 300 kg ha⁻¹ de sulfato de amônio e 100 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio.

Foram efetuadas amostragens em cada época por meio de lançamento ao acaso de um cano de PVC com 2 m de comprimento em quatro pontos de cada piquete, a forragem foi cortada rente ao solo, com roçadeira costal acoplada com podador de cerca-viva de 0,5 m de comprimento, correspondendo cada amostra a 0,5 x 2,0 m.

O material amostrado foi separado nos componentes leguminosa, gramíneas e material morto, pesado, identificado enviado para determinação do teor de proteína bruta (PB), segundo A.O.A.C (1980).

Os dados foram analisados pelo procedimento MIXED do programa SAS (Statistical Analysis System), SAS Institute (2010), a fim de se determinar a estrutura de matriz de variância e covariância. O nível de significância adotado para a análise de variância foi de 5 %.

Resultados e discussão

Pode-se observar que, quando avaliado o tipo de capim dentro do sistema de consórcio ou exclusivo, não foram encontradas diferenças significativas em relação ao teor de proteína bruta (TABELA 1).

Tabela 1. Teor de proteína bruta (PB) nas forrageiras *U. decumbens* cv. Basilisk e *U. brizantha* cv. Marandu em função do tipo de pastagem e da época do ano.

Teor de Proteína Bruta			
Tipo de Pasto	Tipo de Capim		Média
	<i>U. decumbens</i>	<i>U. brizantha</i>	
Consoiciado	7,19±0,41aA	8,35±0,41aA	7,77±0,29A
Exclusivo	6,64±0,41aA	6,23±0,41aA	6,43±0,29A
Média	6,92±0,29a	7,29±0,29a	
Época do Ano	Tipo de Capim		Média
	<i>U. decumbens</i>	<i>U. brizantha</i>	
Fevereiro	9,56±0,43aA	10,68±0,43aA	10,12±0,30A
Agosto	4,27±0,43aB	3,90±0,43aB	4,09±0,30B
Média	6,92±0,29a	7,29±0,29a	
Época do Ano	Tipo de Pasto		Média
	Consoiciado	Exclusivo	
Fevereiro	11,65±0,43aA	8,59±0,43bA	10,12±0,30A
Agosto	3,90±0,43aB	4,28±0,43aB	4,09±0,30B
Média	7,77±0,29a	6,43±0,29a	

Médias seguidas de letras maiúsculas diferentes nas colunas e letras minúsculas diferentes nas linhas diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer ($P < 0,05$)¹ estatística referente a dados transformados para Log de (X+1).

Fonte: Elaborada pelo autor (2018).

O resultado não significativo, quando avaliado o tipo de capim em relação ao tipo de pasto, pode ser considerado positivo, uma vez que para o tipo de pasto exclusivo foi feita adubação com 300 kg ha⁻¹ de sulfato de amônio e 100 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio, o que não ocorreu para os tipos de pastos consorciados.

A contribuição de nitrogênio pela leguminosa para outras culturas em consórcio depende da espécie da forrageira leguminosa, de seu potencial de mobilização e da eficiência para a produção de fitomassa. Desta forma, a assimilação do nitrogênio é apurado pelo material genético e pelas condições ambientais, podendo ser potencializado pelo manejo dos resíduos (RAO; MATHUVA, 2000).

Neste contexto, com o ingresso de leguminosas, podem-se obter resultados expressivos e de baixo custo, uma vez que a adoção de consórcio pode promover melhoria no sistema de pastagem por meio da fixação biológica de nitrogênio, incremento de matéria orgânica no sistema e retenção de carbono no solo, podendo também gerar economia em uso de fertilizantes.

Carvalho (1986), citado por Paulino et al. (2008), mostra que a contribuição das leguminosas para a mistura leguminosa/gramínea corresponde a aplicações de nitrogênio, no capim exclusivo, variando de 100 a 250 kg ha ano⁻¹, sendo que, em condições de pastejo, a maior parte da transferência se processa por meio da mineralização do nitrogênio contido no resíduo da leguminosa e nos excrementos dos animais em pastejo.

Foram observadas diferenças significativas quando avaliada a interação tipo de capim vs. época do ano, em que os maiores teores foram encontrados dentro do mês de fevereiro (verão), conforme Tabela 1. Observa-se também que o sistema de consórcio, dentro do mês de fevereiro, apresentou maior teor de proteína.

Pode-se observar que, ao estudar o tipo de capim em relação à época do ano, os maiores teores foram encontrados nos meses de fevereiro, o que também ocorreu quando estudado o tipo de pasto em relação à época do ano.

Euclides et al. (1996), trabalhando com capim-Marandu e capim-Tanzânia na época das águas, relataram maiores porcentagens de PB.

De acordo com Costa (1995), a melhor idade de corte do capim-Marandu, tendo em vista conciliar a melhor produção e melhores teores de PB, prevalece entre 56 e 70 dias de crescimento vegetativo.

Neves et al. (1980), trabalhando com cultivares de braquiária, obtiveram valores médios de PB de 10,9 e 6,17%, para cortes aos 30 e 60 dias, respectivamente, após uniformização. Quando avaliada a interação tipo de pasto vs. época do ano, podem-se observar diferenças estatísticas significativas.

Os maiores valores de PB (%) foram observados dentro do mês de fevereiro, quando também se pode constatar que o pasto consorciado obteve maior valor. Esse incremento, quando analisado juntamente com a informação apresentada na interação tipo de capim vs. época do ano, indica que a adição da leguminosa elevou a qualidade da pastagem em função do teor de PB.

Almeida et al. (2002), que avaliaram o efeito da estação do ano nos valores nutricionais do capim-Marandu, constataram máximos teores de PB no período chuvoso (9,7 %) em relação ao período seco do ano (8,9 %).

Gerdes et al. (2000), trabalhando com *Brachiaria brizantha* cv. Marandu (*U. brizantha* cv. Marandu), mensuraram valores distintos entre as estações na sequência outono, inverno, primavera e verão, com teores médios de 18,6, 13,7, 12,8 e 11,4% PB na MS, respectivamente, valores mais elevados que os do presente estudo, ainda que os autores tenham adquirido forragens com 35 dias de rebrotação em um único corte por estação.

Conclusão

De acordo com os resultados, pode-se concluir que houve incrementos no teor de proteína bruta para as forrageiras de *U. decumbens* cv. Basilisk e *U. brizantha* cv Marandu, em sistema de consórcio com o *Macrotyloma axillare* cv. Guatá, dentro do mês de fevereiro, isto é, na época do verão.

Crude protein content in *Urochloa* cultivars (Syn. *Brachiaria*) in exclusive pasture system or consorciated with *Macrotyloma axillare* cv. Guatá

Abstract

The objective of this study was to evaluate the crude protein content of *Urochloa* spp. cultivars (*U. brizantha* cv Marandu and *U. decumbens* cv. Basilisk), within a consortium system with *Macrotyloma axillare* cv Guatá. The experimental design was a completely randomized design, with four replications, in a factorial scheme (2 x 2), at which two types of grass (*U. decumbens* and *U. brizantha*) and two pasture types were studied (intercropped or exclusively fertilized with 60 kg of nitrogen/ha) with repeated measures in time (samplings at two seasons of the year: February (summer) and August (winter)). Subsequently, samples were collected from a 2 m long PVC bar at

four points in each picket, and the forage cut close to the ground, with costal mowing coupled with 0.5 m length hedge trimmer, each sample of 0.5 x 2.0 m, totalizing 1m². The sampled material was identified, weighed and sent for analysis of crude protein to assess the contribution of leguminous in grass protein content. No significant differences were found when the type of grass versus type of pasture interaction for the crude protein variable was met; however, significant differences were found when evaluating the type of grass versus season interaction, at which the highest levels were found within the month of February (summer), the same occurring for the interaction type of pasture versus season of the year. It was concluded there were increases in crude protein content for *U. decumbens* cv. Basilisk and *U. brizantha* cv. Marandu when in consortium with *M. axillare* cv. Guatá in the summer season.

Keywords: Biological nitrogen. Forage. Forage quality. Leguminous.

Referências

ALMEIDA, R. G.; NASCIMENTO JUNIOR, D.; EUCLIDES, V. P. B. Produção animal em pastos consorciados sob três taxas de lotação, no Cerrado. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 31, n. 2, p. 852-857, 2002. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbz/v31n2s0/21273.pdf> . Acesso em: 16 ago. 2018.

ABIEC – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS EXPORTADORAS DE CARNES. Perfil da Pecuária no Brasil: Relatório Anual. p. 20-29, 2018. Disponível em: <http://abiec.siteoficial.ws/images/upload/sumario-pt-010217.pdf>. Acesso em: 23 jul. 2019

ANUÁRIO DBO 2017: os números da pecuária. v. 35, n. 435, p. 14, 2017. Disponível em: https://issuu.com/portaldbo/docs/dbo_ed_435. Acesso em: 20 ago. 2018.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). **Official Methods of Analysis**. Washington, DC, p. 14-18, 1980. Disponível em: <https://archive.org/details/gov.law.aoc.methods.1980/page/n35> . Acesso em: 16 ago. 2018.

CARVALHO, G. G. P.; PIRES, A. J. V. Leguminosas tropicais herbáceas em associação com pastagens. **Archivos de Zootecnia**, v. 57, p. 103-113. 2008. Disponível em: http://www.uco.es/organiza/servicios/publica/az/php/img/web/25_12_52_894UsoCarvalho.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2018.

COSTA, N. L. Curva de crescimento e composição química de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em Rondônia. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 32., Brasília, 1995. **Anais...** Brasília: SBZ, 1995. v. 1, p. 38-40.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Centro Nacional e Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, 2006. p. 184. Disponível em: <https://www.agrolink.com.br/downloads/sistema-brasileiro-de-classificacao-dos-solos2006.pdf> . Acesso em: 22 ago. 2018.

EUCLIDES, V. P. B.; MACEDO, M. C. M.; ZIMMER, A. H.; OLIVEIRA, M. P. Valores nutritivos de cinco gramíneas sob pastejo. In: REUNIAO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 33. 1996, Fortaleza. **Anais ...** Fortaleza: SBZ, 1996. v. 2, p. 90-92.

GERDES, L.; WERNER, J. C.; COLOZZA, M. T.; CARVALHO, D. D.; SCHAMMASS, E. A. Avaliação de características agrônômicas e morfológicas das gramíneas forrageiras Marandu, Setária e Tanzânia aos 35 dias de crescimento nas estações do ano. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 29, n. 4, p. 947-954, 2000. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbz/v29n4/5605.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2018.

MEIRELLES, N. M. F. Degradação de pastagens: critérios de avaliação. In: PAULINO, V. T.; ALCÂNTARA, P. B.; BEISMAN, D. A.; ALCÂNTARA, V. B. G. (Eds.). ENCONTRO SOBRE RECUPERAÇÃO DE PASTAGENS, 1., Nova Odessa (SP), 1993. **Anais...** Nova Odessa (SP): IZ, 1993. p. 27-48.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. Transformações bioquímicas e ciclo dos elementos no solo. **MICROBIOLOGIA E BIOQUÍMICA DO SOLO**. Lavras: UFLA, 2006, p.313-404. Disponível em: http://www.esalq.usp.br/departamentos/Iso/arquivos_aula/LSO_400%20Livro%20-%20Microbiologia%20e%20bioquimica%20do%20solo.pdf. Acesso em: 20 ago. 2018.

NEVES, M. P. H.; KASS, M. L.; SERRÃO, E. A. S. Introdução e avaliação preliminar de gramíneas do gênero *Brachiaria* na região de Belém, Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ZOOTECNIA, 1., 1980, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: UFC, 1980. p. 406-407.

PAULINO, V. P.; LUCENA, M. A. C.; GERDES, L.; COLAZZA, M. T.; BRAGA, G. J. Sustentabilidade de pastagens consorciadas. In: ENCONTRO TÉCNICO SOBRE LEGUMINOSAS FORRAGEIRAS - DESAFIOS E PERSPECTIVAS. 2., 2008, Nova Odessa. **Anais...** Instituto de Zootecnia, Nova Odessa (SP). Nova Odessa: IZ/APTA/SAA, 2008, p. 1-55. (CD ROOM).

RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Eds.). **Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Instituto Agrônomo de Campinas: IAC Campinas, 1997. 285p. (Boletim Técnico, 100).

RAO, M. B.; MATHUVA, M. N. Legumes for improving maize yield and income in semiarid Kenya. **Agriculture Ecosystems and Environment**, v. 78, p.123-137, 2000.

SAS INSTITUTE. **Statistical analysis system: user's guide: statistics**. Cary, NC, 2010.

SILVA, J. J.; SALIBA, E. O. S. Pastagens consorciadas: uma alternativa para sistemas extensivos e orgânicos. **Veterinária e Zootecnia**, v. 14, n. 1, p. 8-18, 2007.

WERNER, J. C.; COLOZZA, M. T.; MONTEIRO, F. A. Adubação de pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGEM, 18., 2001, Piracicaba. **Anais....** Piracicaba: FEALQ, 2001. v. 1, p. 129-156.

Histórico editorial

Submetido em: 03/10/2017

Aceito em: 18/04/2018



Composto orgânico e irrigação influenciando a massa e o teor proteico em folhas de Ora-pro-nóbis

Reginaldo Rodrigues de Andrade¹

João Antônio Galbiatti²

Carla Regina Amorim dos Anjos Queiroz³

Luiz Carlos Pavani⁴

Resumo

A Ora-pro-nóbis (*Pereskia aculeata* Mill.) é uma hortaliça não convencional com alto teor de proteína nas folhas, entretanto estudos sobre o cultivo sistematizado dessa hortaliça folhosa são praticamente inexistentes. Em vista do exposto, o objetivo deste trabalho foi estudar o efeito da utilização de composto orgânico (CO) e de lâminas de irrigação (LI) na produção de massa seca (MSF) e no teor de proteínas (TPF) nas folhas. Para isso, realizou-se experimento com cinco doses de CO (0, 15%, 30%, 45% e 60% do volume do substrato) e três níveis de LI (50%, 75% e 100% da evapotranspiração de referência - E_{t_0}), com quatro repetições. A variância analisada pelo Teste F ($\alpha = 5\%$ e 1%) e a interpretação dos resultados da interação entre os fatores por superfície de resposta permitiram verificar que o aumento da LI de 50% para 100% da E_{t_0} é mais importante para o ganho de MSF do que o aumento das doses do CO. Assim, o maior acúmulo de MSF foi conseguido por meio da combinação de 33% de CO no substrato com LI de 100% da E_{t_0} . O menor acúmulo resultou da combinação de 60% de CO com a LI de 50% da E_{t_0} . O máximo TPF foi alcançado com 52% de CO e LI de 69% da E_{t_0} e o mínimo com a LI de 100% da E_{t_0} e ausência de CO no substrato.

Palavras-chave: Complementação nutricional. Gestão de resíduos. Hortaliça não convencional. *Pereskia aculeata* Miller.

Introdução

A política nacional de resíduos sólidos (BRASIL, 2010) define a compostagem como destinação final de resíduos sólidos orgânicos, sendo resultante de um processo de decomposição biológica controlada desses resíduos, efetuada por uma população diversificada de organismos em condições aeróbias e termofílicas e que resulta em material estabilizado (BRASIL, 2017).

O composto orgânico obtido da compostagem de resíduos sólidos agroindustriais e urbanos constitui-se em uma forma de reaproveitamento desses materiais, evitando a deposição concentrada e inadequada desses na natureza. Esse processo possibilita, a baixo custo, a eliminação de patógenos dos resíduos orgânicos (COSTA et al., 2009; ORRICO JÚNIOR; ORRICO; LUCAS JÚNIOR, 2009; ORRICO JÚNIOR; ORRICO; LUCAS JÚNIOR, 2010), sendo um dos meios mais eficientes para

1 Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro, *Campus* Uberlândia, professor titular aposentado. reginaldo-andrade@iftm.edu.br. Av. dos Mognos 411, Jaraguá, Uberlândia/MG.

2 Universidade Estadual Paulista (UNESP), *Campus* Jaboticabal, Departamento de Engenharia Rural, professor titular. galbi@fcav.unesp.br.

3 Instituto Federal do Triângulo Mineiro, *Campus* Uberlândia, professora doutora. carlaregina@iftm.edu.br.

4 UNESP *Campus* Jaboticabal, professor assistente doutor aposentado, Departamento de Engenharia Rural. lcavani@fcav.unesp.br.

reciclagem de resíduos orgânicos para fins agrícolas, além de possibilitar a reciclagem de material sólido com relativo baixo custo (TAIWO, 2011). Os compostos orgânicos utilizados para produção vegetal podem reduzir significativamente o custo da produção, visto que aumentam o fornecimento de nutrientes e melhoram as propriedades químicas (KIEHL, 2008) e físicas do solo, especialmente por meio da melhor agregação, com influência nas capacidades de infiltração e de retenção de água, na drenagem, na aeração, na temperatura e na penetração radicular (PEREIRA; WILSEN NETO; NÓBREGA, 2013). Além disso, promovem a reciclagem de nutrientes, contribuindo para a melhoria nutricional do sistema solo-planta (SILVA et al., 2012).

Em artigo de revisão sobre os efeitos de longo prazo da adição de resíduos orgânicos na fertilidade do solo, Diacomo e Montemurro (2010) apontam que tais adições aumentam o conteúdo de carbono no solo e, como consequência, a capacidade de troca catiônica. Esse efeito, que é decorrente da elevada carga negativa da matéria orgânica, é importante na retenção de nutrientes e na disponibilização equilibrada e gradual de macro e de micronutrientes às plantas ao longo do ciclo da cultura, o que favorece também a disponibilidade dos nutrientes da adubação química (SEDIYAMA et al., 2009; OLIVEIRA et al., 2010).

A *Pereskia aculeata* Mill., conhecida como Ora-pro-nóbis no Brasil, é nativa dos trópicos americanos. Suas folhas têm teor elevado de proteínas e a ausência de toxicidade associada ao elevado teor de fibras fazem-na promissora como fonte de alimento de boa qualidade ao alcance da população (TAKEITI et al., 2009; ALMEIDA et al., 2014), em função do baixo custo, fácil cultivo e do alto valor nutritivo, tanto para consumo *in natura* quanto para composição de novos produtos alimentícios, como pães e bolos (MARTINEVSKI et al., 2013). Hortaliças folhosas não convencionais como a Ora-pro-nóbis são consideradas boas fontes alternativas de proteínas (KINUPP; BARROS, 2008); popularmente, também são utilizadas como medicinais (PINTO et al., 2012).

O cultivo em ambiente protegido possibilita a proteção da cultura contra granizo, geadas, chuvas, ataque de pragas e de doenças (CALVETE et al., 2008). Por isso, em pesquisas em que são estudados os efeitos da aplicação de diferentes quantidades de água, o cultivo em ambiente protegido permite que a interferência externa das chuvas não ocorra ou seja minimizada. Desta forma, é possível manter com boa precisão as diferenças reais entre os volumes de água recebidos pelas plantas em função dos tratamentos definidos para esse fim.

Considerando que a Ora-pro-nóbis é uma hortaliça não convencional, cujo cultivo sistematizado para exploração econômica é ainda bastante incipiente, resultados na literatura técnico-científica sobre a resposta dessa planta a diferentes quantidades de água aplicadas por irrigação são escassos. Queiroz et al. (2015) estudaram o crescimento de Ora-pro-nóbis submetida a níveis de redução do potencial mátrico do solo para -10 kPa, -30 kPa, -50 kPa e -70 kPa, controlando a variação intermitente desses níveis por meio da aplicação de água por irrigação manual controlada e proporcional a esses tratamentos.

É imperativo a utilização de um manejo de água que defina o momento de efetuar as irrigações e a quantidade de água que deverá ser aplicada visando atender às necessidades hídricas, à otimização do uso dos insumos agrícolas e à obtenção de maiores retornos econômicos (BEZERRA et al., 2009).

O manejo da irrigação, sob condições de ambiente protegido, pode-se basear em fatores do solo, do clima e da planta (FIGUEIRÊDO, 1998). Todavia o monitoramento agroclimático no interior de ambientes protegidos enfrenta dificuldades em decorrência do espaço reduzido para a instalação de equipamentos (FERNANDES; CORÁ; ARAÚJO, 2004), além do alto custo para a aquisição de sensores de boa precisão. Quando existe nas proximidades uma estação agroclimatológica oficial,

cujos sensores são reconhecidamente calibrados, essas dificuldades podem ser minimizadas pela utilização desses dados para a estimativa das necessidades hídricas da cultura no interior do ambiente protegido.

Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo avaliar o acúmulo de massa seca e o teor de proteína nas folhas de Ora-pro-nóbis submetida a lâminas de irrigação e a doses de composto orgânico misturado ao solo.

Material e métodos

O experimento foi desenvolvido em um anexo do viveiro de mudas do Instituto Federal do Triângulo Mineiro – *Campus* Uberlândia (IFTM), localizado a uma altitude de 633 m, Latitude 18°45'48" S, Longitude 48°17'20" W e eixo longitudinal orientado na direção norte-sul. Esse anexo foi utilizado por ser um ambiente protegido das chuvas, tornando possível o controle total das lâminas de irrigação aplicadas. Suas dimensões eram 2,6 m de altura de pé direito e 3,7 m na cumeeira, 27,2 m de comprimento, 3,8 m de largura; foi coberto com filme de plástico transparente de 150 μm de espessura, que constituiu uma das paredes laterais dessa estrutura. As demais paredes eram constituídas por sombrite com 50% de retenção de luz.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com 15 tratamentos, arranjos em esquema fatorial 5 x 3 (5 substratos e 3 níveis de irrigação), com 4 repetições e 2 plantas por repetição.

Os substratos foram constituídos da mistura de solo, areia média e composto orgânico nas proporções apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Composição percentual e volumétrica dos substratos para plantio das estacas de Ora-pro-nóbis (*Pereskia aculeata* Mill.).

Substratos	Composto orgânico		Areia média		^(a) Solo	
	(%)	Volume (cm ³)	(%)	Volume (cm ³)	(%)	Volume (cm ³)
S1	0	0	60	1020	40	680
S2	15	255	45	765	40	680
S3	30	510	30	510	40	680
S4	45	765	15	255	40	680
S5	60	1020	0	0	40	680

^(a) Latossolo Vermelho distroférico típico (EMBRAPA, 2009).

Fonte: Andrade (2012).

O composto orgânico utilizado na composição do substrato foi produzido por meio de compostagem, a partir de resíduos sólidos orgânicos agroindustriais do município de Uberlândia. A areia média de rio foi lavada e seca à sombra, em superfície cimentada e limpa, durante 120 horas. O solo utilizado foi retirado da camada de 0 a 20 cm de profundidade e seco nas mesmas condições e tempo da areia. Antes de misturá-los, conforme as proporções definidas na Tabela 1, cada componente da mistura foi peneirado separadamente em malha de 4 mm; em seguida, amostras do solo e do composto orgânico foram coletadas para caracterização física e química do solo e química do composto orgânico, incluindo elementos potencialmente tóxicos (TABELA 2).

Tabela 2. Características químicas do solo e do composto orgânico (CO) e físicas do solo.

	Características químicas											
	pH (H ₂ O)	D g cm ⁻³	Kcmol _c dm ⁻³	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	t	T	V%.....	m
Solo	5,9	1,27	0,21	2,4	1,3	0	4,0	3,9	3,9	7,9	49	0
CO	6,7	0,69	34,3	109	36	---	---	---	--	---	---	---
	Características químicas											
	MO g dm ⁻³	Bmg kg ⁻¹	Cu	Fe	Mn	Zn	Na	P mg kg ⁻¹	S mg kg ⁻¹	N g kg ⁻¹	C/N	
Solo	24	0,13	3,0	23	30,8	0,8	---	6,3	---	---	---	
CO	398	18	200	34134	706	284	2746	19800	6200	9,6	15/1	
Solo	Características físicas					Elementos potencialmente tóxicos						
	argila g kg ⁻¹	silte	areia fina	areia grossa		CO	Ni	Pb	Cd	Cr	mg kg ⁻¹	
	791	147	49	13			-	-	-		10,5	

pH – Potencial hidrogeniônico; D – densidade; K – potássio, Ca – cálcio; Mg – magnésio; Al – alumínio; H + Al – acidez potencial; SB – soma de bases; t – CTC efetiva; T – CTC a pH 7,0; V – saturação por bases; m – saturação por alumínio; MO – matéria orgânica; B – Boro; Cu – Cobre; Fe – ferro; Mn – manganês; Zn – zinco; Na – sódio; P – fósforo; S – enxofre; N – nitrogênio; C/N – relação carbono-nitrogênio; Ni – níquel; Pb – chumbo; Cd – cádmio; Cr – cromo.

Fonte: Andrade (2012).

Os substratos foram preparados nas proporções apresentadas na Tabela 1, cada tratamento foi colocado individualmente em sacos de plástico juntamente com 2,66 g de adubo, 4:14:8 (N:P₂O₅:K₂O), de acordo com Tofanelli e Resende (2011) e calcário dolomítico, PRNT 100%, suficiente para elevar a saturação por bases do solo para 70%. A adição invariável de adubo possibilita a comparação entre as doses de CO no desenvolvimento das plantas.

Posteriormente, procedeu-se à homogeneização e colocação dos substratos nos vasos com capacidade para 1.700 cm³, nos quais foram adicionados em S1, S2, S3, S4 e S5, respectivamente, 630, 620, 660, 690 e 695 mL de água, volumes médios considerados como a “capacidade de vaso” para cada um dos respectivos tratamentos. Esses volumes de água foram obtidos calculando-se, em 3 vasos de cada tratamento, as médias das diferenças entre os volumes adicionados até o início da drenagem do excesso de água pelo fundo dos vasos e o volume drenado após esse início em cada um dos tratamentos. A medição dos volumes adicionados e drenados foi feita com provetas. Para que a distribuição da água adicionada e sua infiltração ocorressem de maneira uniforme por toda a superfície do substrato nos vasos, a superfície de cada vaso foi coberta com papel de filtro, sobre o qual a água era distribuída manualmente com as provetas. Após isso, os vasos foram submetidos a 11 dias de incubação, permanecendo cobertos com lâminas de plástico fixadas com elásticos, com dois orifícios para troca de ar com o ambiente. Após a incubação, os substratos foram analisados quanto às suas características químicas (TABELA 3).

Tabela 3. Características químicas dos substratos após a incubação.

CO (%)	pH	P	K	Ca	Mg	Al	H ⁺ Al	SB	t	T	V	m
	(H ₂ O)	mg dm ⁻³	----- cmol _c dm ⁻³ -----				-----			%		
0	6,0	17,1	0,26	2,7	1,2	0	2,0	4,16	4,16	6,16	68	0
15	6,4	151,0	1,40	7,8	3,2	0	1,8	12,30	12,38	14,18	87	0
30	6,5	208,4	3,51	8,5	4,1	0	1,7	16,00	16,05	17,75	90	0
45	6,4	238,0	4,89	16,3	3,3	0	1,8	24,40	24,41	26,21	93	0
60	6,5	248,5	6,76	34,8	2,4	0	1,9	43,80	43,85	45,75	96	0

pH – potencial hidrogeniônico; P – fósforo; K – potássio; Ca – cálcio; Mg – magnésio; Al – alumínio; H + Al – acidez potencial; SB – soma de bases; t – CTC efetiva; T – CTC a pH 7,0; V – saturação por bases; m – saturação por alumínio.

Fonte: Andrade (2012).

A irrigação foi realizada manualmente, utilizando lâminas correspondentes a 50% (LI₅₀), 75% (LI₇₅) e 100% (LI₁₀₀) da evapotranspiração de referência (Et₀) em turnos de rega de 3 dias. A Et₀ foi estimada diariamente por meio da equação de Penman-Monteith segundo o modelo FAO-56 (ALLEN et al., 2006) e a LI₁₀₀ correspondia à Et₀ acumulada nos 3 dias de intervalo entre duas irrigações consecutivas. Para isso foram utilizados dados meteorológicos externos ao ambiente protegido de cultivo, obtidos na estação automatizada oficial da rede do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) instalada na Universidade Federal de Uberlândia, a 17,3 km da área experimental (altitude de 869 m, latitude de 18° 54' 59" S e longitude de 48° 15' W). Durante o experimento, os valores encontrados para Et₀ acumulados a cada 3 dias variaram de 2,09 a 6,32 mm, correspondendo às LI de 100% da Et₀ (LI₁₀₀). A esses valores foram aplicados os percentuais de 50% (LI₅₀ = 0,5LI₁₀₀) e de 75% (LI₇₅ = 0,75LI₁₀₀) da Et₀.

Para o plantio das mudas foram retiradas 120 estacas caulinares com diâmetros variando de 10,2 a 14,0 mm de uma única planta matriz de Ora-pro-nóbis. Essas estacas, após passarem por processo de desinfecção por imersão durante 5 minutos em solução de hipoclorito de sódio (0,5%) e lavagem em água corrente por 5 minutos, foram plantadas individualmente nos vasos. Os vasos foram distribuídos aleatoriamente em 4 filas sobre uma bancada de madeira de 1,2 m por 10,0 m e distanciados entre si em, aproximadamente, 0,20 x 0,25 m. Para diminuir as possíveis diferenças quanto ao sombreamento, ao vento e à temperatura, foi realizado o rodízio de posição dos vasos (de ponta, de linha e de eixo) a cada 6 dias.

Aos 122 dias após o plantio das estacas (DAP), as plantas foram cortadas, lavadas e as folhas foram secas à temperatura de 65 °C durante 84 horas em estufa com circulação forçada de ar. A seguir, determinou-se a massa seca das folhas (MSF) e a concentração de nitrogênio total nas folhas, de acordo com o método de Kjeldahl (IAL, 2008), que multiplicado pelo fator 5,75 resultou no teor de proteína estabelecido na Resolução RDC nº 360, de 23 de dezembro de 2003, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA (BRASIL, 2003). Os resultados foram submetidos à análise de variância pelo Teste F ($\alpha = 5\%$ e 1%) e a interação entre os fatores foi avaliada por superfície de resposta.

O ambiente interno onde o cultivo ocorreu foi caracterizado pelas medidas de temperatura e de umidade relativa do ar utilizando um termohigrômetro digital marca Inconterm®, cujos sensores registram temperaturas de -50 a +70 °C, com resolução de 0,1 °C e precisão de ± 1 °C, e umidades relativas do ar de 25 a 98%, com resolução de 1% e precisão de $\pm 5\%$. As temperaturas mínima e

máxima variaram de 5,5 a 18,1 °C e de 26,7 a 46,9 °C, respectivamente, com médias de 11,8 e 41,1 °C; as umidades relativas do ar mínima e máxima variaram de 13 a 76% e de 68 a 99%, com médias de 22,2 e 87,2%, respectivamente.

Resultados e discussão

A massa seca (MSF) e o teor de proteínas (TPF) nas folhas de Ora-pro-nóbis foram influenciados pelas variações no teor de composto orgânico no substrato e na lâmina de irrigação ($p < 0,01$). No entanto, o efeito desses fatores sobre a MSF e o TPF não podem ser analisados de forma independente, uma vez que essas variáveis responderam significativamente ($p < 0,05$) à interação entre substratos e lâminas de irrigação ($p < 0,05$) (TABELA 4). Resultados semelhantes foram obtidos por Lopes, Guerrini e Saad (2007), que produzindo mudas de eucalipto verificaram que a massa seca da parte aérea foi influenciada pelos substratos e pelas lâminas de irrigação aplicadas.

Tabela 4. Resumo da análise de variância para o acúmulo de massa seca e teor de proteína nas folhas de Ora-pro-nóbis (*Pereskia aculeata* Mill.) aos 122 dias após o plantio das estacas.

Fontes de variação	^(a) Massa seca	Teor de proteína
	F	F
Composto orgânico (CO)	9,04**	8,14**
Lâminas de irrigação (LI)	43,80**	86,24**
CO x LI	2,38*	2,41*
^(b) CV (%)	6,56	4,77

^(a) Resultados transformados em $\log(x+5)$; ^(b) coeficiente de variação; ** e * Significativo a 1% e a 5% de probabilidade, respectivamente, pelo Teste F.

Fonte: Andrade (2012).

A interpretação dos efeitos combinados da interação entre CO e LI foi feita com base no modelo de superfície de resposta. Com os resultados aplicados nesse modelo, foi possível interpolar o comportamento da interação entre os valores dos tratamentos pré-estabelecidos. Para MSF, o modelo ajustado foi significativo ($p < 0,01$), de acordo com a Equação (1) (TABELA 5). A MSF máxima foi obtida com a combinação de 33% de CO no substrato com a LI de 100% da Et_0 , enquanto a mínima MSF ocorreu na combinação da máxima concentração de CO no substrato (60%) com a menor LI aplicada (50% da Et_0).

Tabela 5. Estatística, equação do modelo da superfície de resposta (1), valores máximos e mínimos e respectivas combinações entre o percentual de composto orgânico no substrato (x – Composto - %) e lâminas de irrigação (y – Lâmina - % E_t_0), para o acúmulo de massa seca nas folhas (MSF) aos 122 dias após o plantio das estacas.

Regressão	F	p	R ²			
Modelo ajustado	7,79**	0,0043	0,81			
Equação (1)						
MSF = 0,683393+0,003943x+0,00226y-0,000104x ² +0,000030101xy-0,000002576y ² (1)						
Dados estimados com a equação (1)	Acúmulo		Máximo	Mínimo		
Máximo	Mínimo	Composto (%)	Lâmina (% E_{t_0})	Composto (%)	Lâmina (% E_{t_0})	
Transformados z = Log (MSF + 5)	1,05	0,76	33	100	60	50
([@]) MSF (g planta ⁻¹)	6,25	0,69				
[@] valor convertido: MSF = 10 ^z - 5.						

Fonte: Andrade (2012).

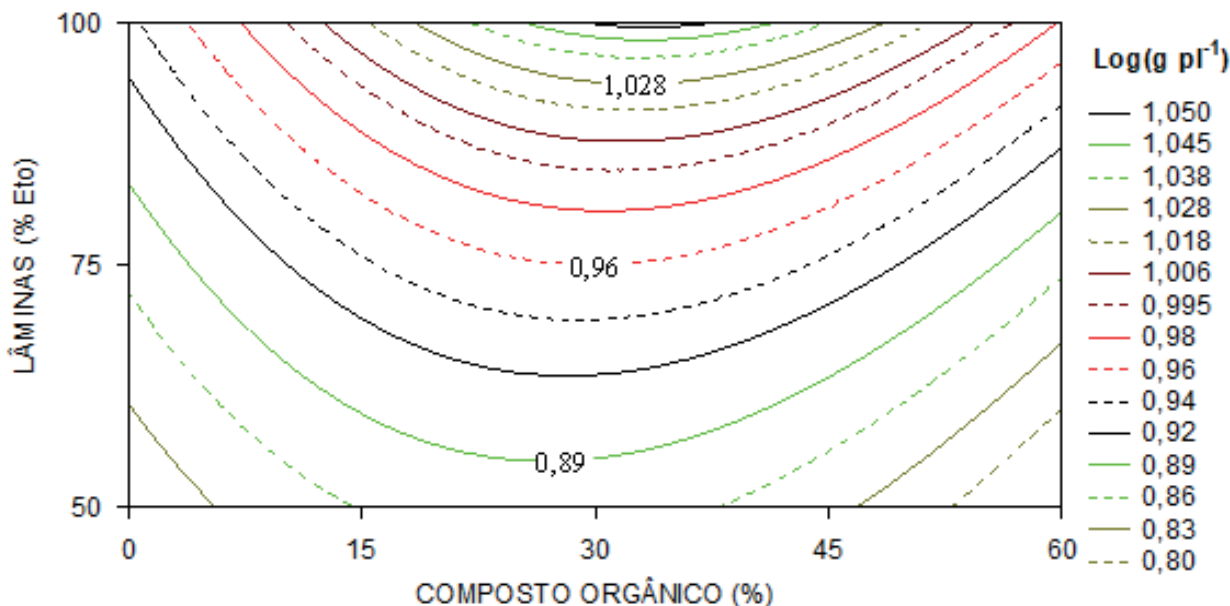
Para todos os percentuais de composto orgânico no substrato, o acúmulo de MSF respondeu positivamente ao aumento da LI de 50% para 100% da E_{t_0} , enquanto o aumento do teor de CO no substrato, para cada LI, resultou em acréscimo na MSF somente até as doses de cerca de 30 a 33% de CO no substrato, provocando decréscimo no acúmulo de MSF para valores de CO superiores (FIGURA 1).

Este fato também foi observado por Lui, Galbiatti e Malheiros (2008) que, ao utilizarem lâminas de 50, 75, 100 e 130% da E_{t_0} interagindo com lixo urbano adicionado a dois tipos de solo em percentuais que variaram de 20 a 100%, para a formação de mudas de eucalipto, observaram relação inversa entre o acréscimo de lixo e o crescimento e o número de folhas das plantas, bem como o número de plantas vivas.

Também com mudas de eucalipto, Lopes, Guerrini e Saad (2007), utilizando LI variando de 6 a 14 mm e substratos contendo casca de pinus, carvão, turfa e vermiculita, concluíram que as LI de 12 mm e 14 mm foram as que mais contribuíram para o desenvolvimento das mudas de *Eucalyptus grandis* com ótima qualidade aos 108 dias após a semeadura.

Com a mesma espécie de planta deste trabalho, o efeito do aumento das lâminas de irrigação foi verificado por Queiroz et al. (2015) em substrato composto por solo, areia média e esterco de bovino na proporção de 6:3:1 em volume, a partir de estacas pré-enraizadas. Esses autores verificaram que, em condições decrescentes de déficit intermitente de água, o aumento de 60% no volume de água aplicado resultante da diminuição do potencial mátrico no substrato de -10 kPa para -70 kPa aumentou linearmente o ganho de MSF ($p < 0,01$) aos 120 dias de cultivo.

Figura 1. Superfície de resposta para acúmulo de massa seca de folhas (MSF) de Ora-pro-nóbis (*Pereskia aculeata* Mill.), em função de doses de composto orgânico no substrato (%) e de lâminas de irrigação (% E_t), aos 122 dias após o plantio das estacas. Dados transformados em log (MSF + 5).



Fonte: Andrade (2012).

Com a aplicação da Equação (1) (TABELA 5), verificou-se que os acréscimos percentuais de MSF com o aumento da LI, dentro de cada percentual de CO no substrato, foram maiores de 50% para 75% da E_t (de 61,2% em 15% de CO a 236,2% em 60% de CO), do que de 75% para 100% da E_t (de 47,3% em 15% de CO a 93,4% em 60% de CO). Em relação aos percentuais de CO, os maiores acréscimos ocorreram de 0% para 15% de CO, para todas as LIs, com acréscimos decrescentes com o aumento da LI (de 67,7% para 50% da E_t a 48,7% para 100% da E_t).

No entanto, de 15% para 30%, os acréscimos percentuais de MSF aumentaram com o aumento da LI e, a partir de 30 ou 33%, passaram a ocorrer decréscimos de MSF que foram menores com o aumento da LI. Os maiores decréscimos na MSF ocorreram de 45% para 60% de CO que foram, em ordem decrescente, de 63% para 50% da E_t , de 36% para 75% da E_t e de 24% para 100% da E_t .

Com relação ao teor de proteína nas folhas, o modelo de superfície de resposta foi significativo ($p < 0,01$) e resultou na Equação (2) expressa na Tabela 6. O resultado da aplicação dessa equação e a interpretação das isolinhas apresentadas na Figura 2 evidenciaram que a combinação de 52% de CO no substrato com a LI de 69% da E_t resultou no teor máximo de proteína nas folhas (24,4%), enquanto o teor mínimo (16,6%) foi resultado de 0% de CO com a LI de 100% de E_t .

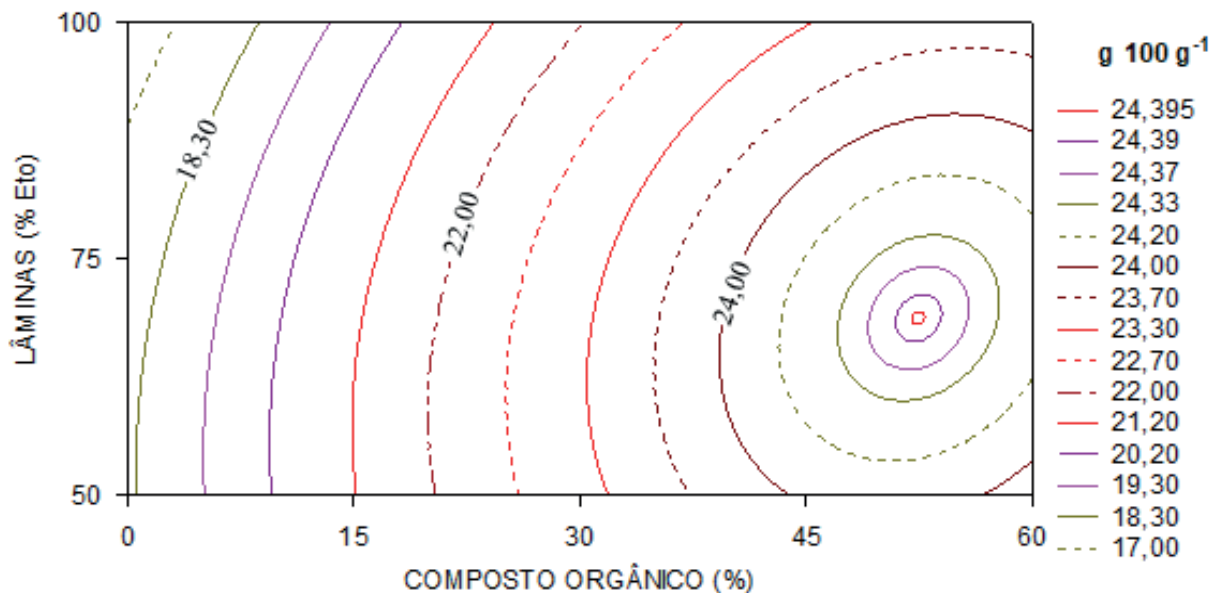
Tabela 6. Estatística e equação de regressão para a superfície de resposta (2), valores máximos e mínimos e respectivas combinações entre o percentual de composto orgânico no substrato (x -composto - %) e lâminas de irrigação (y - lâmina - % Et₀), para o teor de proteína nas folhas de Ora-pro-nóbis (*Pereskia aculeata* Mill.), aos 122 dias após o plantio das estacas.

Regressão	F	p	R ²		
Grau 2	34,56**	< 0,0001	0,95		
Equação (2)					
Proteína = 15,724807 + 0,209154x + 0,092724y - 0,002349x ² + 0,00054xy - 0,00088y ² (2)					
z = -0,115417 + 0,005564x + 0,00652y - 0,00013x ² + 0,000032333xy - 0,0000308y ² + 0,0000308y ² + 0,0000308y ²					
Variável	Teor (g 100 g ⁻¹)		Máximo	Mínimo	
	Mínimo	Composto (%)	Lâmina (% Et ₀)	Composto (%)	Lâmina (% Et ₀)
Máximo 24,4	16,2	52	69	0	100

Fonte: Andrade (2012).

Verificou-se que dentro de cada LI o aumento do percentual de CO no substrato, até 52%, aumentou o teor de proteína nas folhas, e o incremento percentual em todas as LIs ocorreu com o aumento de CO de 0% para 15% (16,6% na LI de 50% a 21,1% na LI de 100%). A partir de 15%, os acréscimos de CO aumentaram percentualmente menos o teor de proteína até praticamente não se modificar mais a partir de 45% de CO. Considerando o aumento da LI dentro de cada percentual de CO no substrato, ocorreu diminuição gradual do teor de proteína com o aumento da LI, para todos os percentuais de CO. As maiores reduções percentuais sempre ocorreram com aumento da LI de 75% para 100% da Et₀. Resultados semelhantes sobre o efeito do aumento da LI no teor de proteína nas folhas de Ora-pro-nóbis foram obtidos por Queiroz et al. (2015), os quais verificaram que com o acréscimo de 60% no volume de água aplicado, resultante do aumento do potencial mátrico no substrato de -70 kPa para -10 kPa, o teor de proteína diminuiu linearmente ($p < 0,01$) em folhas de Ora-pro-nóbis cultivadas durante 120 dias em substrato composto por solo, areia média e esterco de bovino na proporção de 6:3:1 em volume.

Figura 2. Superfície de resposta para teor de proteína na folha em função de doses de composto orgânico no substrato e de lâminas de irrigação aos 122 dias após o plantio das estacas.



Fonte: Andrade (2012).

Análise das isolinhas da Figura 2 permite afirmar que o teor de proteína nas folhas foi mais fortemente influenciado pelo teor de CO no substrato do que pela LI dentro dos percentuais dos dois tratamentos avaliados neste experimento.

O efeito positivo do aumento do teor de CO também foi verificado em alface por Souza et al. (2005). Os teores de proteína bruta da parte aérea de alface foram influenciados apenas pelas doses de composto orgânico e não pelas de adubação mineral. Os teores de proteína bruta cresceram linearmente com o aumento das doses de composto orgânico até 160 t ha⁻¹. A cada aumento de 1 t ha⁻¹ de composto orgânico houve um incremento de 0,02% no teor de proteína bruta na parte aérea da alface.

Conclusões

Lâminas de irrigação e doses de composto orgânico influenciam de forma inversa a acumulação de massa seca e o teor de proteína nas folhas de Ora-pro-nóbis. A combinação de 33% de composto orgânico no substrato com a lâmina de irrigação de 100% da Et₀ proporciona o maior acúmulo de massa seca nas folhas. Para os teores de proteína nas folhas, o teor máximo é alcançado com 52% de composto orgânico combinado com a lâmina de irrigação de 69% da Et₀.

Organic compost and irrigation on weight and protein content of *Pereskia aculeata* leaves

Abstract

The *Pereskia aculeata* Mill. plant, known in Brazil as Ora-pro-nobis, is a non-conventional vegetable with high leaf protein content, however studies on the crop system of this leaf vegetable are scarce. Therefore, the objective of the present work was to evaluate the effect of organic compost (OC) rates and irrigation depths (ID) on leaf dry weight (LDW) and leaf protein content (LPC) for *P. aculeata* plants. The experiment consisted of five OC rates (0, 15%, 30%, 45%, and 60% of the substrate volume) and three ID (50%, 75%, and 100% of the reference evapotranspiration - E_{t_0}), with four replications. The analysis of variance by the F test ($\alpha = 5\%$ and 1%) and the interpretation of the interaction between the factors by response surface demonstrated the increase of ID from 50% to 100% E_{t_0} is more significant for the increasing in LDW than the increases in OC rates. The highest LDW accumulation was found by combining 33% OC in the substrate with ID of 100% E_{t_0} . The lowest LDW resulted from the combination of 60% OC and ID of 50%. The highest LPC was found with the use of 52% OC and ID of 69%, and the lowest with the ID of 100% and absence of OC in the substrate.

Keywords: Nutritional supplementation. Waste management. Non-conventional vegetable. Barbados gooseberry. Ora-pro-nobis.

Referências

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Determinación de la E_{t_0} . In: **Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos**. Cap 4, p. 65 a 86. Roma: Estudio FAO - Riego y Drenaje 56. 2006. 298 p.

ALMEIDA, M. E. F.; JUNQUEIRA, A. M. B.; SIMÃO, A. A.; CORRÊA, A. D. Caracterização química das hortaliças não convencionais conhecidas como ora-pro-nóbis. **Bioscience Journal**, v. 30, p. 431-439, 2014. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/17555/14557>. Acesso em: 15 jan. 2018.

ANDRADE, R. R. **Substrato e Irrigação em Ora-pro-nóbis (*Pereskia aculeata* Mill.)**. 90 f. Tese (Doutorado em Agronomia – Ciência do Solo) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2012. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/100843>. Acesso em: 10 dez. 2017.

BEZERRA, J. R. C.; DIAS, J. M.; PEREIRA, J. R.; GUEDES, F. X. **Consumo hídrico do algodoeiro BRS 200 Marron**. Campina Grande: EMBRAPA, 2009. 10 p. (Circular Técnica 129). Disponível em: <https://www.cnpa.embrapa.br/destaques/2010/CIRTEC129.pdf>. Acesso em: 08 jan. 2018.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA. Resolução de Diretoria Colegiada – RDC nº 360, de 23 de dezembro de 2003. **Regulamento técnico sobre rotulagem nutricional de alimentos embalados**. Disponível em: http://portal.anvisa.gov.br/documents/33880/2568070/res0360_23_12_2003.pdf/5d4fc713-9c66-4512-b3c1-afee57e7d9bc. Acesso em: 14 jan. 2018.

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Lei nº 12305, de 2 de agosto de 2010**. Dispõe sobre a gestão integrada e o gerenciamento de resíduos sólidos. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 08 dez. 2017.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução nº 481, de 3 de outubro de 2017**. Dispõe sobre o controle e a qualidade ambiental do processo de compostagem de resíduos orgânicos. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=728>. Acesso em: 20 jan. 2018.

CALVETE, E. O.; MARIANI, F.; WESP, C. L.; NIENOW, A. A.; CASTILHOS, T.; CECCHETTI, D. Fenologia, produção e teor de antocianinas de cultivares de morangueiro em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 30, n. 2, p. 396-401, 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbf/v30n2/a22v30n2>. Acesso em: 14 jan. 2018.

COSTA, M. S. S. M.; COSTA, L. A. M.; DECARLI, L. D.; PELÁ, A.; SILVA, C. J. da; MATTER, U. F.; OLIBONE, D. Compostagem de resíduos sólidos de frigorífico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 1, p. 100-107, 2009. Disponível em: <http://www.agriambi.com.br/revista/v13n1/index.htm>. Acesso em: 10 jan. 2018.

DIACOMO, M.; MONTEMURRO, F. Long-term effects of organic amendments on soil fertility. A review. **Agronomy for Sustainable Development, Agronomy**. v. 30, n. 2, p. 401-422, 2010. Disponível em: <https://hal.archives-ouvertes.fr/file/index /docid/886539/filename/hal-00886539.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2018.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMPRAPA). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Cap. 10. p. 161-176 2. ed. Rio de Janeiro, 2006. 306 p. Disponível em: <https://www.agrolink.com.br/downloads/sistema-brasileiro-de-classificacao-dos-solos2006.pdf>. Acesso em: 11 jan. 2017.

FERNANDES, C.; CORA, J. E.; ARAÚJO, J. A. C. Utilização do tanque Classe A para a estimativa da evapotranspiração de referência dentro da casa de vegetação. **Engenharia Agrícola**, v. 24, n. 1, p. 46-50, 2004. Disponível em: <http://www.scielo.br /pdf/eagri/v24n1/v24n01a06.pdf>. Acesso em: 7 jan. 2018.

FIGUEIRÊDO, S. F. Estabelecimento do momento de irrigação com base na tensão de água no solo para a cultura do feijoeiro. USP-ESALQ. 72f. 1998. **Dissertação (Mestrado)**. Universidade de São Paulo, ESALQ, Piracicaba, SP, 1998.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ (IAL). **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. Cap. 4, p. 83-158, 4. ed. São Paulo: IAL, 2008. 1020 p. Disponível em: <http://www.ial.sp.gov.br/resources/>

editorinplace/ial/2016_3_19/analisedealimentosial_2008.pdfhttp://www.ial.sp.gov.br/resources/editorinplace/ial/2016_3_19/analisedealimentosial_2008.pdf. Acesso em: 06 jan. 2018.

KIEHL, E. J. **Adubação Orgânica**. Piracicaba: Degaspari, 2008. p. 5-6. 227 p.

INUPP, V. F.; BARROS, I. B. I. Teores de proteína e minerais de espécies nativas, potenciais hortaliças e frutas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 4, p. 846-857, 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/cta/v28n4/a13v28n4.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2018.

LOPES, J. L. W.; GUERRINI, I. A.; SAAD, J. C. C. Qualidade de mudas de eucalipto produzidas sob diferentes lâminas de irrigação e dois tipos de substrato. **Revista Árvore**, v. 31, n. 5, p. 835-843, 2007. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-67622007000500007. Acesso em: 11 jan. 2018.

LUI, J. J.; GALBIATTI, J. A.; MALHEIROS, E. B. Efeito da irrigação e utilização de lixo orgânico na formação de mudas de eucalipto. **HOLOS Environment**, v. 8, n. 2, p. 179-194, 2008. Disponível em: <https://www.cea-unesp.org.br/holos/article/viewFile/3033/2521>. Acesso em: 14 jan. 2018.

MARTINEVSKI, C. S.; OLIVEIRA, V. R. de; RIOS, A. O.; FLORES, A. O.; VENZKE, J. G. Utilização de bertalha (*Anredera cordifolia* (TEN.) Steenis e Ora-pro-337 nóbis (*Pereskia aculeata* Mill.) na elaboração de pães. **Alimentos e Nutrição**, v. 24, n. 3, p. xx-xx, 2013. Disponível em: <http://serv-bib.fcfar.unesp.br/seer/index.php/alimentos/article/viewFile/267/2251>. Acesso em: 11 jan. 2018.

OLIVEIRA, A. S. E.; SÁ, J. R. de; MEDEIROS, J. F. de; NOGUEIRA, N. W.; SILVA, K. J. P. da. Interação da adubação organo-mineral no estado nutricional das plantas. **Revista Verde**, v. 5, n. 3, p. 53-58, 2010. Disponível em: <http://docplayer.com.br/52074286-Interacao-da-adubacao-organo-mineral-no-estado-nutricional-das-plantas.html>. Acesso em: 14 jan. 2018.

ORRICO JÚNIOR, M. A. P.; ORRICO, A. C. A.; LUCAS JÚNIOR, J. de. Compostagem da fração sólida da água residuária de suinocultura. **Engenharia Agrícola**, v. 29, n. 3, p. 483-491, 2009. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-69162009000300015&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 12 jan. 2018.

ORRICO JÚNIOR, M. A. P.; ORRICO, A. C. A.; LUCAS JÚNIOR, J. Compostagem dos resíduos da produção avícola: cama de frangos e carcaça de aves. **Engenharia Agrícola**, v. 30, n. 3, p. 538-545, 2010. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-69162010000300017&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 11 jan. 2018.

PEREIRA, C. C.; WILSEN NETO, A.; NÓBREGA, L. H. P. Adubação orgânica e algumas aplicações agrícolas. **Varia Scientia Agrárias**, v. 3, n. 2, p. 159 a 174, 2013. Disponível em: <file:///C:/Users/Master/Desktop/Downloads/3813-30721-1-PB.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2018.

PINTO, N. C. C.; SANTOS, R. C. dos; MACHADO, D. C.; FLORÊNCIO, J. R.; FAGUNDES, E. M. S.; ANTINARELLI, L. M. R.; COIMBRA, E. S.; RIBEIRO, A.; SCIO, E. Cytotoxic and antioxidant activity of *Pereskia aculeata* Miller. **Pharmacology on-line**, v. 3, p. 63-69, 2012. Disponível em: https://pharmacologyonline.silae.it/files/archives/2012/vol3/PhOL_2012_3_A009_015_Nicolas.pdf. Acesso em: 14 jan. 2018.

QUEIROZ, C. R. A. A.; ANDRADE, R. R. de; MORAIS, S. A. L.; PAVANI, L. C. Growing *Pereskia aculeata* under intermittent irrigation according to levels of matric potential reduction. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, n. 1, p. 1-8, 2015. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1983-40632015000100008. Acesso em: 07 jan. 2018.

SEDIYAMA, M. A. N.; VIDIGAL, S. M.; SANTOS, M. R. dos; SALGADO, L. T. Rendimento de pimentão em função da adubação orgânica e mineral. **Horticultura Brasileira**, v. 27, n. 3, p. 294-299, 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/hb/v27n3/v27n3a06>. Acesso em: 15 jan. 2018.

SILVA, A. A.; COSTA, A. M. da; LANA, R. M. Q.; LANA, A. M. Q. Recycling of nutrients with application of organic waste in degraded pasture. **Engenharia Agrícola**, v. 32, n. 2, p. 405-414, 2012. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-69162012000200020&script=sci_arttext&tlng=pt. Acesso em: 08 jan. 2018.

SOUZA, P. A.; NEGREIROS, M. Z. de; MENEZES, J. B.; BEZERRA NETO, F.; SOUZA, G. L. F. M.; CARNEIRO, C. R.; QUEIROGA, R. C. F. de. Características químicas de folhas de alface cultivada sob efeito residual da adubação com composto orgânico. **Horticultura Brasileira**, v. 23, n. 3, p. 754-757, 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/hb/v23n3/a13v23n3>. Acesso em: 16 jan. 2018.

TAIWO, A. M. Composting as a sustainable waste management technique in developing countries. **Journal of Environmental Science and Technology**, v. 4, n. 2, p. 93-102, 2011. Disponível em: <http://docsdrive.com/pdfs/ansinet/jest/2011/93-102.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2018.

TAKEITI, C. Y.; ANTONIO, G. G.; MOTTA, E. M.; COLLARES-QUEIROZ, F. P.; PARK, K. J. Nutritive evaluation of a non-conventional leafy vegetable (*Pereskia aculeata* Miller). **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, v. 60, n. 1, p. 148-160, 2009. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09637480802534509>. Acesso em: 12 jan. 2018.

TOFANELLI, M. B. D.; RESENDE, S. G. Sistema de condução na produção de folhas de Ora-pro-nóbis. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 3, p. 466-469, 2011. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1983-40632011000300021&lng=en&nrm=iso&tlng=pt. Acesso em: 16 jan. 2018.

Histórico editorial

Submetido em: 16/02/2018

Aceito em: 25/04/2018