

**INSTITUTO FEDERAL**  
Sul de Minas Gerais

eISSN 2316-1817

**Indexada em**

AGRIS - Information System for the Agricultural Sciences and Technology  
SUMÁRIOS.ORG  
LATINDEX  
REDIB  
DOAJ  
GOOGLE ACADÊMICO

Afiliada à Associação Brasileira de Editores Científicos (ABEC)

*Revista*

---

# **AGROGEOAMBIENTAL**

---

Publicação Trimestral Científica e Tecnológica - IFSULDEMINAS

v.12 – n.3 – set / 2020

Pouso Alegre – Minas Gerais – Brasil



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

Presidente da República  
**Jair Messias Bolsonaro**

Ministro da Educação  
**Milton Ribeiro**

Secretário de Educação Profissional e Tecnológica  
**Wandemberg Venceslau Rosendo Dos Santos**

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. 12, n. 3 (set. 2020) -. - Pouso Alegre (MG): IFSULDEMINAS, 2020 - .

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

**Editora-chefe**  
Sindynara Ferreira

**Bibliotecária**  
Rosimeire Ribeiro

**Assistentes editoriais**  
Kélica Andréa Campos de Souza  
Alan Silva Fialho

**Revisão**  
Monalisa Aparecida Pereira

**Comissão editorial**  
Cristiane Fortes Gris  
Jane Piton Serra Sanches  
Wellington Marota Barbosa

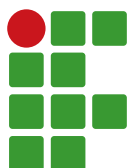
**Diagramação**  
Pamela Silva | Tikinet

## Comissão editorial

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

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





## “É lento ensinar por teorias, mas breve e eficaz fazê-lo pelo exemplo”



Mais do que prestar uma homenagem póstuma ao Professor Miguel, nosso editor-chefe desde 2018, queremos que, por meio deste singelo texto, os nossos leitores conheçam um pouco mais da trajetória e do ser humano por trás das funções que ele exercia.

Queremos que seus familiares e amigos sejam confortados com a certeza de que a morte não irá apagar as lembranças e o exemplo inspirador que foi a sua vida, e que isso os orgulhe.

O professor Miguel Angel Isaac Toledo Del Pino nasceu no Chile, em Cauquenes, e veio para o Brasil ainda criança com a família.

Começou sua vida acadêmica cedo e, em 1995, graduou-se em Engenharia Agrícola, pela Universidade Federal de Lavras (UFLA), onde também iniciou suas atividades como pesquisador e onde adquiriu seu título de Mestre três anos depois.

Neste período, a docência já era uma paixão e ele atuou como professor substituto na UFLA até 2002, quando ingressou na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Universidade de São Paulo, para fazer o doutorado em Irrigação e Drenagem.

Com o título de doutor, em 2006 entrou em exercício na antiga Escola Agrotécnica Federal de Inconfidentes (EAFI), hoje Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais (IFSULDEMINAS) Campus Inconfidentes, onde atuou como Professor de Ensino Básico, Técnico e Tecnológico (EBTT), como membro de órgãos colegiados, coordenador de cursos, Coordenador Geral de Ensino (CGE) e como Diretor-Geral do Campus, de 2014 a 2018.

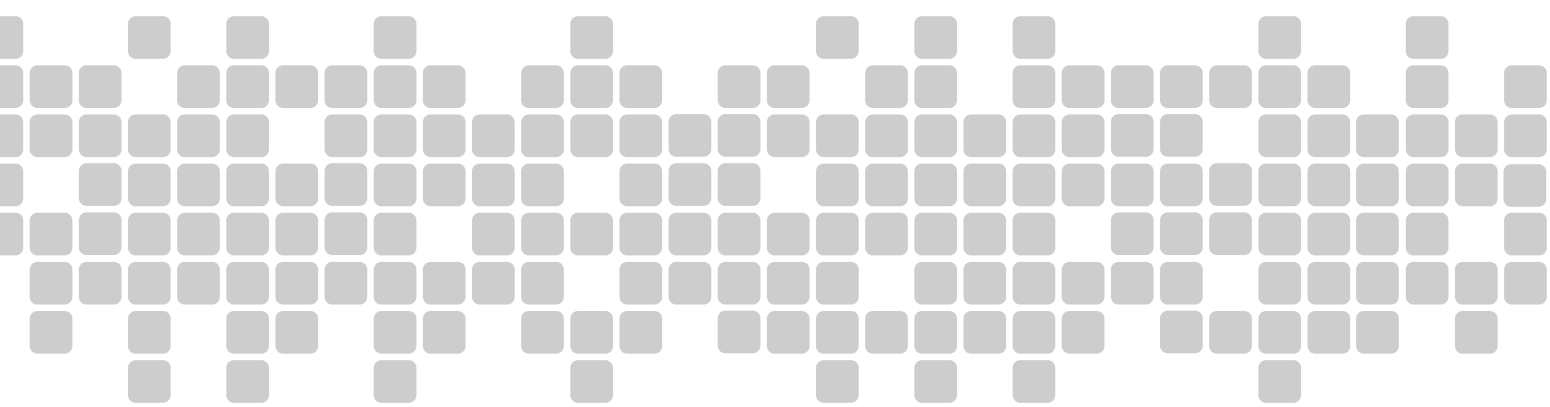
Enquanto diretor, as portas de seu gabinete estavam sempre abertas para receber, ouvir e apoiar os colegas, além da competência, a empatia era uma marca registrada. Mesmo no período em que atuou na gestão, buscou continuar o trabalho de sala de aula, colocando os alunos em primeiro lugar, procurando soluções quando tudo parecia “perdido”.

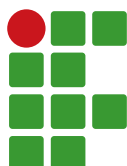
Atuou efetivamente na Comissão Técnica da Olimpíada Brasileira de Agropecuária do IFSULDEMINAS desde as primeiras edições, participando também das provas práticas. Nessas ocasiões, pudemos aprender muito com sua postura e educação, pois ele sempre estava ali, conduzindo tudo com leveza e bom humor, demonstrando a importância da gentileza, sendo um verdadeiro líder.

Na Revista Agrogeoambiental, desde 2012 atuava como parecerista e, além de revisar os artigos, nos dava uma aula de estatística, nunca deixou o lado professor. A partir de setembro de 2018 tornou-se o nosso Editor-Chefe, função que desempenhou com muita seriedade e competência.

Além de excelente profissional, o professor Miguel era também um amigo que trazia consigo sempre palavras de encorajamento e que muito nos ensinou pelo exemplo.

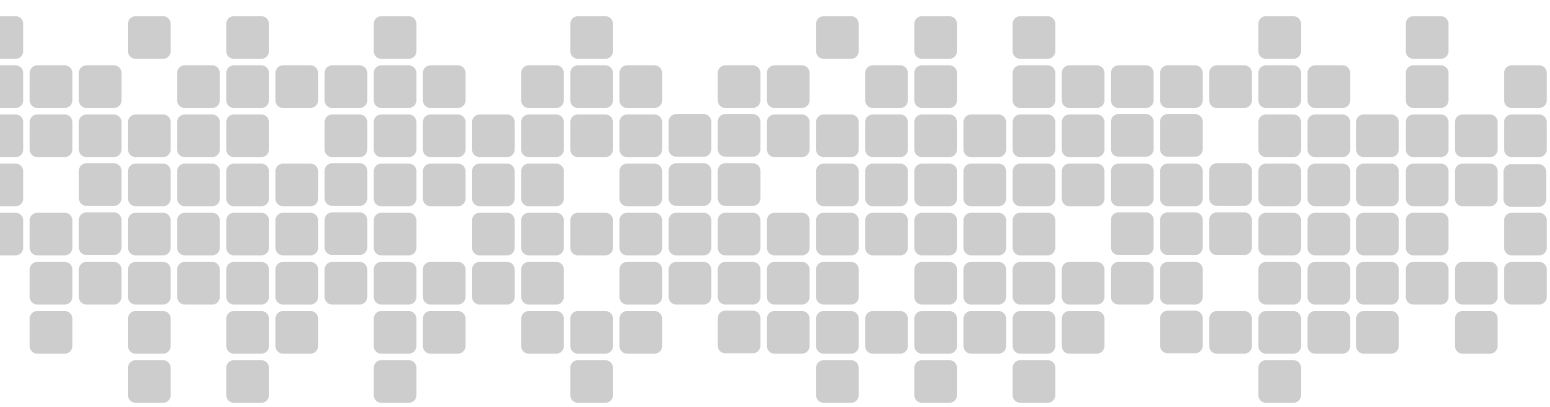
Tinha um perfil discreto, mas nem por isso deixava de expressar seu apreço, recentemente a lembrança que deixa é a de sempre nos perguntar se estávamos nos cuidando. Miguel era pai, esposo, filho e irmão, fica aqui nossa solidariedade aos familiares e nossos agradecimentos pelos trabalhos como servidor na Instituição.





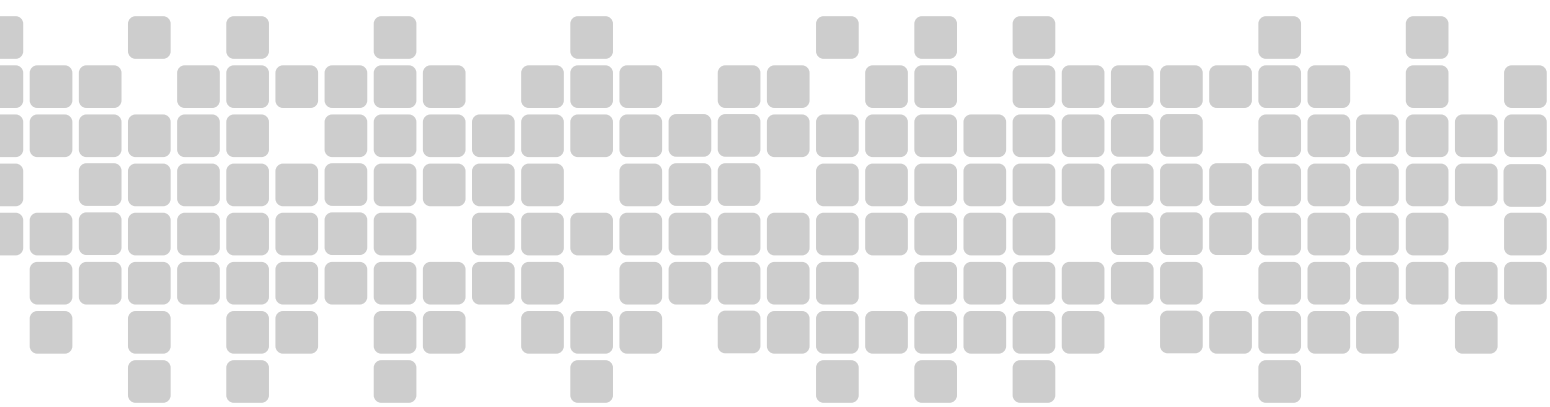
# Summary

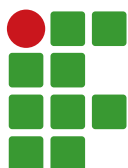
Scarification and gibberellic acid in the germination and initial development of pindaíba ( <i>Duguetia lanceolata</i> ST Hil) .....	11
Kamila Cristina de Credo Assis, Guilherme Serra Geraldo, Cintia Moda Salatino Guardabaxo, Eunice Maria Baquião, Bruna Nogueira Rezende, Anna Lygia de Rezende Maciel	
Medium and large sized mammals of the Cerrado domain of Tocantins state, Brazil .....	21
Wagner Tadeu Vieira Santiago, Carlos Fonseca, Antônio Carlos da Silva Zanzini, Felipe Santana Machado, Aloysio Souza de Moura, Marco Aurélio Leite Fontes	
Influence of surrounding vegetation on the diversity of social wasps on coffee culture .....	38
Gabriel de Castro Jacques, Bruna SÍntia Silva de Araújo	
Spatial and temporal analysis of the collapse of the tailings dam in Brumadinho, Brazil .....	48
Jéssica de Cássia Leopoldino, Camila Souza dos Anjos, Débora Paula Simões, Luiz Flávio Reis Fernandes	
Modeling the amount of mineralized carbon from swine manure and wheat straw .....	61
Gustavo Sérgio de Paula, Edilson Marcelino Silva, Ariana Campos Frühauf, Édipo Menezes da Silva, Joel Augusto Muniz, Tales Jesus Fernandes	
Odonata (Insecta) species richness in the Parque Estadual do Ibitipoca, Southeast Brazil ..	79
Caio Silva dos Anjos, Lucas Rocha Milani, Marcos Magalhães de Souza	
Quality of white Gurgutuba creole beans stored in silo bags and PET bottles.....	91
Valter Barbosa Magalhães, Adalberto Hipólito de Sousa	
Methods of application and doses of inoculation with <i>Azospirillum</i> in agronomic performance of off-season corn crop .....	105
Ivan Vilela Andrade Fiorini, Cassiano Spaziani Pereira, Mateus Emanuel Schoffen, Mauricio Escobar Tonial, Daniele Costa Sabino, Adriano Alves da Silva	
Agroclimatic Risk Zoning of Papaya ( <i>Carica papaya</i> L.) in the Hydrographic Basin of Paraná River III, Brazil .....	120
Nathan Felipe da Silva Caldana, Pablo Ricardo Nitsche, Luiz Gustavo Batista Ferreira, Alan Carlos Martelócio, Paulo Vicente Contador Zaccheo, Jorge Alberto Martins	
Rare earth and bird cartridge compost in coffee change development .....	135
Luiz Gustavo Rosa Freire, Paula Tristão Santini, Mariana Fávero Silva, Anna Lygia de Rezende Maciel	





# Artigos científicos





# Scarification and gibberellic acid in the germination and initial development of pindaíba (*Duguetia lanceolata* ST Hil)

Kamila Cristina de Credo Assis<sup>1</sup>

Guilherme Serra Geraldo<sup>2</sup>

Cintia Moda Salatino Guardabaxo<sup>3</sup>

Eunice Maria Baquião<sup>4</sup>

Bruna Nogueira Rezende<sup>5</sup>

Anna Lygia de Rezende Maciel<sup>6</sup>

## Abstract

*Duguetia lanceolata* St. Hill is a species native to the Atlantic Forest. Its seeds contain substances that have a germination inhibiting effect. In view of the above, the present work aimed to evaluate the influence of gibberellic acid and mechanical scarification on germination and seedling development of the *D. lanceolata*. This work was developed at IFSULDEMINAS - Campus Muzambinho, MG, Brazil. The seeds were obtained from fruits collected from adult plants. The experimental design was in randomized blocks, in a 5x2 factorial scheme with three replications with eighteen plants per plot. The treatments consisted of different concentrations of gibberellic acid (0, 5, 10, 15 and 20 mg L<sup>-1</sup>) and mechanical scarification (presence and absence). Leaf number, stem diameter and germination percentage were evaluated. The data were subjected to analysis of variance, the significant difference between treatments being determined by the F test and later, the qualitative variables were analyzed by the Scott-Knott test, and the quantitative variables by regression, both at the 5% level. The gibberellic acid and scarification do not influence the stem diameter and the number of seedling leaves. There was a linear increase in the percentage of germination with increasing doses of gibberellic acid up to the concentration 20.0 mg L<sup>-1</sup> when scarification did not occur (35.19%). Quadratic behavior occurred with gibberellin doses when the seeds undergo mechanical scarification with a maximum dosage of 10.0 mg L<sup>-1</sup> and corresponding germination of 42.59%. Mechanical scarification promoted an increase in germination when GA<sub>3</sub> was not applied, and at the dosage of 10.0 mg L<sup>-1</sup>.

**Keywords:** Annonaceae; GA<sub>3</sub>; Radicle protrusion; Break dormancy.

1 Universidade do Estado de São Paulo/Faculdade de Ciências Agrônomicas (UNESP/FCA). Mestranda em Agronomia – Irrigação e Drenagem. [kamilac.cassis@hotmail.com](mailto:kamilac.cassis@hotmail.com).

2 Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA) – Mococa/SP. Engenheiro agrônomo. [gui\\_geraldo@hotmail.com](mailto:gui_geraldo@hotmail.com).

3 Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais (IFSULDEMINAS). Discente no curso de Engenharia Agrônoma. [cintiamoda@gmail.com](mailto:cintiamoda@gmail.com).

4 UNESP/FCA. Mestranda em Agronomia – Proteção de Plantas. [eunicebaquiaonr@gmail.com](mailto:eunicebaquiaonr@gmail.com).

5 UNESP/FCA. Mestranda em Agronomia – Irrigação e Drenagem. [bbrunarezende@hotmail.com](mailto:bbrunarezende@hotmail.com).

6 IFSULDEMINAS. Professor e pesquisador. [anna.lygia@muz.ifsuldeminas.edu.br](mailto:anna.lygia@muz.ifsuldeminas.edu.br).

## Introduction

According to Carvalho (2006), native species can be an alternative to solve social problems. In this way, native plants must occupy new market niches, diversifying income for farming families, combining economic development with environmental conservation.

The plant species of the *Annonaceae* family was described in 1789 and are plants generally distributed among tropical areas of the American, African and Asian continents. This family has about 2,500 species distributed in approximately 135 genera (CHATROU et al., 2012). Of the genera that make up the *Annonaceae* family, 34 can be found in South America, with predominance of the genera *Annona* L., *Duguetia* St. Hil., *Guatteria* Ruiz et Pavon, *Rollinia* St. Hil and *Xylopia* L. In Brazil, there are 29 genera, including *Duguetia* spp. with 50 species out of the 70 cataloged (RIBEIRO et al., 2002).

*Duguetia lanceolata* St. Hill is a native species of the Brazilian closed Atlantic Forest, popularly known as pindaíba, pindaíva, pindaúva and perovana (RODRIGUES; CARVALHO, 2001). The *D. lanceolata* is in the official list of Brazilian flora species threatened with extinction in the state of São Paulo, and is considered to be in danger in Rio Grande do Sul (NCFLOA, 2012).

The species is arboreal with 15.0 to 20.0 meters in height and 0.4 to 0.6 m in stem diameter, its trunk is straight and has a grayish-brown shell. The leaves are simple, glabrous, whitish, and scaly at the bottom; lanceolate, with smooth margin and cardboard texture, they are 2.5 to 3.0 cm wide and 6.0 to 12.0 cm long. The flowers are large and purple in color, the fruits are bacaceous, red, and very showy (MANICA et al., 2003).

The use of forest species presents many difficulties, that are caused by the lack of information about their cultivation, being necessary to expand the works in the propagation and production of seedlings (FERREIRA, 2000).

Seed germination is a biological phenomenon that can be considered by botanists as the resumption of embryo growth, with the subsequent rupture of the tegument by the radicle (ANDRADE et al., 1995). In this case, obtaining seed is, indispensably, the most important phase in the production process of seedlings of native species for reforestation, since native species are usually propagated via seminal (SENA, 2008).

Some native species have seminal dormancy mechanisms that prevent the germination process, even though the conditions are favorable. In these cases, for germination to occur, techniques are needed to stimulate germination. This blockage can occur at any stage of germination, by mechanisms related to the seed itself, or be induced by environmental or genetic effects (BENECH-ARNOLD et al., 2013).

The seeds of the *Annonaceae* family are orthodox, i.e., they tolerate long-term storage; however, they contain substances that have a germination-inhibiting effect, consequently causing dormancy, which, together with the impermeability and resistance of the tegument, provide antagonistic factors to the uniform and rapid germination (JOSE; SILVA; DAVIDE, 2007). According to Borghetti (2004), the embryo contained in the seeds of the species of the *Annonaceae* family has incomplete maturation and, in this case, the seeds do not germinate soon after dispersion, requiring a post-maturation time.

According to Taiz et al., (2017), the embryo's dormancy loss is often associated with a sharp drop in the ratio between the abscisic acid (ABA) and gibberellic acid (GA) phytohormones. Cunha and Casali (1989) point out that the inhibitory effect of ABA on germination can be reversed by



GA<sub>3</sub> when used in concentrations that exceed its content. One of the methods used to overcome physiological dormancy is the exogenous application of these phytohormones

Phytohormones are chemical messengers, produced in a cell, that modulate cellular processes interacting with specific proteins that function as receptors linked to signal transduction routes. Even at low concentrations, these phytohormones can activate responses in target cells (TAIZ et al., 2017).

According to Manica (2003), in addition to the physiological factors that prevent or hinder the germination of *Annonaceae* seeds, there is still physical dormancy. Among the physical characteristics, this dormancy is related to the density of the tegument, which causes the impermeability of the bark, making gas exchange difficult. The seed tegument has a high lignin content, then, some species of the family can take up to 180 days to germinate.

Scarification is the recommended method for overcoming physical dormancy, which aims to make the seed envelope more permeable to water absorption and gas exchange, as well as to facilitate the emergence of the root and plumule. Mechanical scarification consists of the friction of the seeds against an abrasive surface or by scraping a small part or section of the tegument (FACHINELLO; HOFFMANN; NACHTIGAL, 2000; CARVALHO, 2003).

Results of overcoming dormancy in *Annonaceae* seeds were observed by Campos et al. (2015), who studied the combination of physical scarification and gibberellic acid concentrations in biribá pre-germinative treatment (*Rollinia mucosa* (Jacq.) Baill). The authors observed a significant increase in the percentage of seed germination and in the initial growth of seedlings when physical scarification was used associated with GA<sub>3</sub> up to a maximum concentration of 1000.0 mg L<sup>-1</sup>. Complementary results were obtained by Matias, Vilar, and Dantas (2018), who found better results in the germination of the *Annona cf. Montana* (Macfad) with the application of gibberellin and with the chemical scarification with Potassium Nitrate (KNO<sub>3</sub>).

For nurseries and producers, the dormancy mechanism of *Duguetia lanceolata* it is a disadvantage, inducing the unevenness of seedlings and greater demand for production time, besides running a greater risk of loss of seeds due to deterioration.

In this context, this study aimed to evaluate the influence of the gibberellic acid and mechanical scarification on seed germination and the development of *Duguetia lanceolata* St. Hill seedlings.

## Material and methods

### Characterization of the experimental area

The experiment was carried out at the Forest Species Seedling Production Laboratory of the Federal Institute of Education, Science, and Technology of Southern Minas Gerais - Campus Muzambinho, MG, from July 2017 to July 2018.

The municipality of Muzambinho, that belongs to the southern region of the state of Minas Gerais, has geographical latitude coordinates: 21°20'59,94"S and longitude: 46°31'34.82"W, with an average altitude of 1,013.0 meters.

The region's climate is humid temperate with dry winter and moderately hot summer (Cwb), according to Köppen's classification (SÁ JUNIOR et al. 2012).

## Treatments and experimental design

The experimental design was in randomized blocks (DBC), in a 5 x 2 factorial scheme containing three replicates with eighteen plants per plot. The experimental factors consisted of different concentrations of gibberellic acid (0, 5, 10, 15 and 20 mg L<sup>-1</sup>) and mechanical scarification (presence and absence).

The seeds were divided according to the pre-established treatments. Mechanical scarification consisted of vigorous friction of the tegument with sandpaper No. 150 on the ends of the seeds. In the treatment with growth regulator, the seeds were kept soaked for 24 hours in gibberellic acid solutions, in the concentrations of each treatment. The seeds without the growth regulator were soaked in distilled water.

## Experiment installation and conduction

The seeds used were obtained from fruits collected randomly from five adult plants of *Duguetia lanceolata* ST Hill, located on a rural property in the municipality of Muzambinho – MG.

The fully ripe fruits were manually pulped using a sieve and running water and, after extraction, the seeds were dried on paper and kept in a shaded place until the time of the experimental processes.

The seeds were soaked in the corresponding treatment for 24 hours. After imbibition, the seeds were sown in plastic bags of 1.5 liters, using as soil substrate ravine and bovine manure tanned in a 3 x 1 proportion enriched with 3.0 kg of simple superphosphate for each 1m<sup>3</sup> of the substrate. The plastic bags were kept in nursery conditions with 50.0% shading and irrigation when necessary.

## Characteristics evaluated

After 150 days, were evaluated the percentage of germination, number of leaves, and stem diameter. The seeds were considered germinated after the radicle protrusion. No destructive analysis was performed because the species is at high risk of extinction.

## Statistical analysis

The data obtained were subjected to analysis of variance with the use of the SISVAR statistical software (FERREIRA, 2011), the significant difference between treatments being determined by the F test. Detecting differences between treatments, the means under the scarification factor were grouped by the Scott-Knott test at the level of 5% of significance, and the means referring to the GA dosage<sub>3</sub> were submitted to regression analysis.

## Results and discussion

From the analysis of variance, it was found that there was an interaction between the factors studied for the variable percentage of germination. For the variables stem diameter and number of leaves, there was also no statistical difference between treatments for the isolated factors.

Data regarding the influence of the gibberellic acid and mechanical scarification on seed germination and seedling development of the *Duguetia lanceolata* ST Hill are shown in Table 1.

**Table 1** – Percentage of seed germination, stem diameter (mm), and leaf number of *Duguetia lanceolata* ST. Hill subjected to different concentrations of gibberellic acid and mechanical scarification. Muzambinho/MG, 2018.

GA <sub>3</sub> (mg L <sup>-first</sup> )	Scarification					
	Presence		Absence		Absence	
	Germination (%)		Diameter (mm)		Number of leaves	
0	35.18 a*	27.77 b	2.06 a	2.13 a	4.86 a	5.13 a
5	36.33 a	31.48 a	2.28 a	1.97 a	4.33 a	4.53 a
10	42.59 a	29.63 b	1.82 a	2.16 a	5.06 a	5.13 a
15	37.04 a	33.33 a	2.00 a	2.47 a	5.73 a	5.57 a
20	29.63 a	35.18 a	1.86 a	2.04 a	4.40 a	6.73 a
CV (%)	16.36		18.64		17.65	

(\*) Means followed by the same lowercase letter on the line do not differ significantly at the 5% level by the Scott-Knott test.

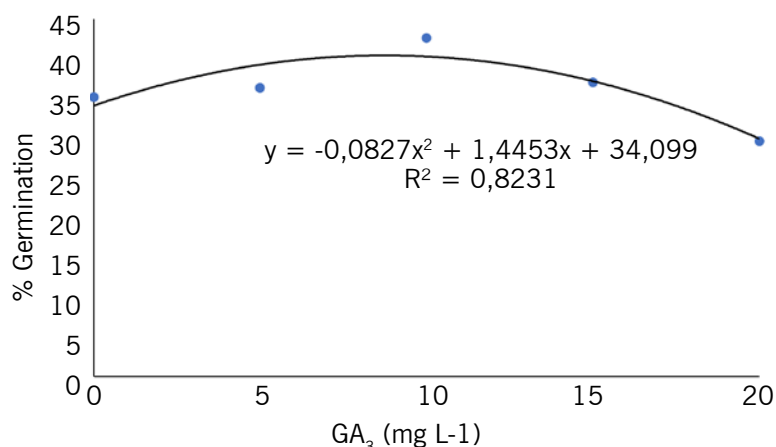
**Source:** Elaborated by the authors (2018).

At concentrations of 0.0 and 10.0 mg L<sup>-1</sup> from GA<sub>3</sub>, the presence of mechanical scarification promoted a significant increase in the germination percentage of *D. lanceolata* when compared to the absence of the method (Table 1). This fact may be related to mechanical scarification that favors the weakening of the rigid seminal envelope, making it more porous, thus facilitating the development of the embryo.

These results corroborate those found by Ferreira et al. (2002) in *Annona squamosa* and Pereira et al. (2004) in *Annona crassiflora* Mart who obtained higher average germination in seeds that were scarified mechanically before imbibition in gibberellic acid. Lorenzi (2002) also noted that mechanical and chemical scarification in *A. crassiflora* Mart. provided an increase in the germination rate, reaching rates above 50.0 %. However, Campos et al. (2015) found no significant difference for the scarification of (*Rollinia mucosa* (Jacq.) Baill) after 85 days after sowing (DAS).

Figure 1 shows the regression analysis regarding the gibberellic acid dosage in the presence of scarification. The regression obtained quadratic behavior with a high coefficient of determination (82.3%). This result proves that the plants responded positively to the acid increase in the presence of scarification up to the maximum dosage of 8.27 mg L<sup>-1</sup>. In higher dosages, however, there was a decrease in the germination percentage. This fact corroborates the hypothesis that plant hormones act only when present in low concentrations.

**Figure 1** – Germination percentage of *Duguetia lanceolata* ST Hill subjected to mechanical physical scarification with sandpaper nº 150 and different dosages of GA<sub>3</sub> (Muzambinho, 2018).



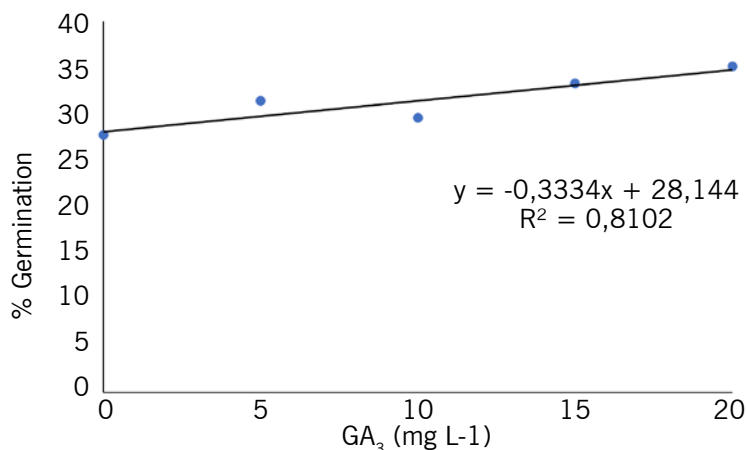
**Source:** Elaborated by the authors (2018).

Within plant cells, signal transduction routes never work in isolation, but operate as part of a complex network of signaling interactions (TAIZ et al., 2017). In this sense, it is worth mentioning that the hormone increases germination when the balance between ABA and GA<sub>3</sub> occurs. At higher dosages, hormonal imbalance and inhibition of the action site and consequently germination may occur.

Similar results were obtained by Oliveira et al. (2010) who, by testing the commercial gibberellic acid (0.1 ia) in the germination of atemoya seeds (*Annona cherimola* Mill. x *A. squamosa* L.) cv 'GEFNER,' obtained a decrease in germination at dosages above 750.0 mg L<sup>-1</sup> in soaking time of 36 hours.

Figure 2 shows the germination percentages in the seeds that were not scarified. Unlike the scarified ones, the regression found showed linear behavior with a high coefficient of determination (81.02%). There was an increase in germination compared to the control, regardless of the tested dose. In this case, the dose absorbed by the embryo did not cause any antagonistic reaction or hormonal imbalance.

**Figure 2** – Germination percentage of *Duguetia lanceolata* ST Hill subjected to different dosages of GA<sub>3</sub> (Muzambinho, 2018).



**Source:** Elaborated by the authors (2018).

Gibberellin may be responsible for mobilizing the energy reserves present in the endosperm of seeds of various species (TAIZ et al., 2017). This may indicate that the exogenous application of gibberellic acid may alter the metabolism of the seed, prompting a premature supply of energy necessary for the development of the embryo. Since the ABA x GA ratio plays a decisive role in maintaining seed dormancy, it is believed that the environmental conditions that break dormancy fundamentally operate at the level of the genetic networks that affect balance. This affirmation is consistent with the fact that seed treatment with GA, in general, can replace a positive sign in breaking dormancy.

Different results were found by Vasconcellos (2015), who tested the increment of 1,000.0 mg L<sup>-1</sup> from GA<sub>3</sub> with the aid of a spray bottle on the *Annona squamosa* but did not obtain germination without physical scarification.

Both understanding and knowing the dormancy mechanism and the dormancy overcoming in seeds are relevant factors in the seedling production process (SILVA et al., 2011). According to the results obtained, gibberellic acid increased the percentage of germination regardless of whether scarification occurred or not. In the absence of application and with a dosage of 10.0 mg L<sup>-1</sup>, scarification also boosted an increase in the germination rate. The germination percentages obtained with the hormonal application are still considered low from an agronomic point of view. Gómez-Castañeda et al. (2003) point out that the embryos of *Annonaceae* seeds are immature, and it takes at least six months for embryonic maturation to occur or for growth and differentiation promoting hormones such as auxins and cytokinin to be applied.

## Conclusions

Gibberellic acid and mechanical scarification do not influence the stem diameter and the number of seedling leaves of *D. lanceolata*. However, germination is positively responsive to the implementation of both techniques as long as the plant's limit to hormonal increase is respected.

There was a linear increase in the germination percentage with increasing doses of gibberellic acid up to the maximum concentration tested 20.0 mg L<sup>-1</sup> when scarification did not occur (35.19%).

There is a quadratic behavior related to the doses of gibberellin when the seeds undergo mechanical scarification with a maximum point at a dosage of 8.27 mg L<sup>-1</sup>, and corresponding germination of 40.39%.

Mechanical scarification boosted an increase in germination when GA<sub>3</sub> was not applied, and at a 10.0 mg L<sup>-1</sup> dosage.

## Acknowledgments

The authors would like to thank IFSULDEMINAS-Campus Muzambinho for giving the space and the opportunity for the development of this work; the NIPE – Institutional Research and Extension Center of IFSULDEMINAS – Campus Muzambinho for financing the project; and the CNPq – National Council for Scientific and Technological Development for granting the scholarship to students.

## Escarificação e ácido giberélico na germinação e desenvolvimento inicial de pindaíba (*Duguetia lanceolata* ST Hil)

### Resumo

A *Duguetia lanceolata* St. Hill é uma espécie nativa da Floresta Atlântica. Suas sementes contêm substâncias que possuem efeito inibidor de germinação. Diante do exposto, o trabalho teve como objetivo avaliar a influência do ácido giberélico e da escarificação mecânica na germinação e no desenvolvimento de plântulas de *D. lanceolata*. O trabalho foi desenvolvido no IFSULDEMINAS – Campus Muzambinho/MG. As sementes foram obtidas de frutos coletados de plantas adultas. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 5 x 2, com 3 repetições 18 plantas por parcela. Os tratamentos consistiram em diferentes concentrações de ácido giberélico (0, 5, 10, 15 e 20 mg L<sup>-1</sup>) e escarificação mecânica (presença e ausência). Foram avaliados número de folhas, diâmetro de caule e porcentagem de germinação. Os dados foram submetidos à análise de variância, sendo a diferença significativa entre tratamentos determinada pelo Teste F e, posteriormente, analisadas pelo Teste de Scott-Knott as variáveis qualitativas e por regressão as quantitativas, ambas ao nível de 5 %. O diâmetro de caule e o número de folhas de plântulas não são influenciados pelo ácido giberélico e pela escarificação. Houve incremento linear na porcentagem de germinação com o aumento das doses de ácido giberélico até a concentração 20,0 mg L<sup>-1</sup>, quando não ocorreu escarificação (35,19%). Registrou-se comportamento quadrático em relação às doses de giberelina quando as sementes passam por escarificação mecânica com máximo de uma dosagem de 10,0 mg L<sup>-1</sup> e germinação correspondente de 42,59 %. A escarificação mecânica promoveu incremento na germinação quando não houve aplicação de GA<sub>3</sub> e na dosagem de 10,0 mg L<sup>-1</sup>.

**Palavras-chave:** Annonaceae; GA<sub>3</sub>. Protusão da radícula. Quebra de dormência.

### References

ANDRADE, A. C. S. Efeito da luz e da temperatura na germinação de *Leandra breviflora* Cogn., *Tibouchina moricandiana* (DC.) Baill. (Melastomataceae). **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 17, n. 1, p. 29-35, 1995.

BENECH-ARNOLD, R. L. M.; RODRIGUEZ, V. M.; BATLLA, D. Seed Dormancy and Agriculture, Physiology. **Encyclopedia of Sustainability Science and Technology**, Springer New York, p.1-14, 2013.

BORGHETTI, F. Dormência embrionária. In: FERREIRA, A. G.; BORGHETTI, F. (Org.) **Germinação: do básico ao aplicado**. Porto Alegre: Artmed, 2004. p. 109-123.

CAMPOS, C. F. L.; ABREU, M. C.; GUIMARÃES, N. R.; SELEGUINI, A. Escarificação e ácido giberélico na emergência e crescimento de plântulas de biribá. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 10, p. 1748-1754, out, 2015.

CARVALHO, J. E. U. Utilização de espécies frutíferas em sistemas agroflorestais na Amazônia. In: GAMA-RODRIGUES, A. C.; BARROS, N. F.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; FREITAS, M. S. M.; VIANA, A. P.; JASMIN, J. A.; MARCIANO, C. R.; CARNEIRO, J. G. A. (Ed.). **Sistemas agroflorestais: bases científicas para o desenvolvimento sustentável**. Campos dos Goytacazes: Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2006. p. 169-176.

CHATROU, L. W.; PIRIE, M. D.; ERKENS, R. H. J.; COUVREUR, T. L. P.; NEUBIG, K. M. J.; ABBOTT, R.; MOLS, J. B.; MAAS, J. W.; SAUNDERS, R. M. K.; CHASE, M. W. A new subfamilial and tribal classification of the pantropical flowering plant family Annonaceae informed by molecular phylogenetics. **Botanical Journal of the Linnean Society**, London, v. 169, n. 1, p. 5-40, 2012.

CUNHA, R.; CASALI, V. W. D. Efeito de substâncias reguladoras de crescimento sobre a germinação de sementes de alface. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Londrina, v. 9, n. 2, p. 121-132, 1989.

FACHINELLO, J. C.; HOFFMANN, A.; NACHTIGAL, J. C. **Propagação de plantas frutíferas**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica. 221p., 2005.

FERREIRA, C. A. C. **Recuperação de áreas degradadas**. Informe Agropecuário, v. 21, n. 202, p. 127-130, 2000.

FERREIRA, D. F. Sisvar: um sistema computacional de análise estatística. **Ciência e Agrotecnologia**. Lavras, v. 35, n. 6 p. 11-15. Nov./Dec. 2011.

FERREIRA, G.; ERIG, P. R.; MORO, E. Uso de ácido giberélico em sementes de fruta-do-conde (*Annona squamosa* L) visando à produção de mudas em diferentes embalagens. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 24, n. 1, p. 178-182, 2002.

GOMEZ-CASTAÑEDA, J. A.; RAMÍREZ, H.; BENAVIDES-MENDOZA, A.; ENCINARODRIGUEZ, I. Germination and seedling development of soncoya (*Annona purpurea* Moc y Sessé) in relation to gibberelins and abscisic levels. **Revista Chapingo Serie Horticultura**, Texcoco, v. 9, n. 2, p. 243-253, 2003.

JOSE, C. A.; SILVA, A. E.; DAVIDE, C. A. Classificação fisiológica de sementes de cinco espécies arbóreas de mata ciliar quanto a tolerância à dessecação e ao armazenamento. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 29, n. 2, p. 171-178, 2007.

LORENZI, H. **Árvores Brasileiras: Manual de Identificação e Cultivo de Plantas Arbóreas do Brasil**, v. 1, 4. ed. – Nova Odessa, SP. Instituto Plantarum, 2002.

MANICA, I.; ICUMA, M. I.; JUNQUEIRA, P. K.; OLIVEIRA, S. A. M.; CUNHA, M. M.; OLIVEIRA, E. M.; JUNQUEIRA, V. T. N.; ALVES, T. R. **Frutas anonáceas: ata ou pinha, atemólia, cherimólia e graviola**. Porto Alegre: Cinco continentes, p.596. 2003.

MATIAS, J. R.; VILAR, F. C. R.; DANTAS, B. F. Superação de dormência de araticum-do-mato. **Informativo Abrates**, v. 28, n. 1, p.124-129, 2018.

NCFlora. *Duguetia lanceolata* in Lista Vermelha da flora brasileira versão 2012.2 Centro Nacional de Conservação da Flora. Disponível em: <[http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/pt-br/profile/Duguetia lanceolata](http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/pt-br/profile/Duguetia_lanceolata)>. Acesso em: 25 set. 2019.

OLIVEIRA, M. C.; FERREIRA, G.; GUIMARÃES, V. F.; DIAS, G. B. Germinação de sementes de atemoia (*Annona cherimola* Mill. x *A. squamosa* L.) cv. 'Gefner' submetida a tratamentos com ácido giberélico (GA<sub>3</sub>) e Etefon. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal/SP, v. 32, n. 2, p. 544-554, junho 2010.



PEREIRA, E. B. C.; PEREIRA, V. A.; MELO, T. J.; SOUSA-SILVA, C. J.; FALEIRO, G. F. **Quebra da dormência de sementes de araticum**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2004. 15p. (Boletim de Pesquisa e desenvolvimento/EMBRAPA Cerrados, 137).

RIBEIRO, J. E. L.; HOPKINS, M. J. G.; VICENTINI, A.; SOTHERS, C. A.; COSTA, M. A. S.; BRITO, J. M.; SOUZA, M. A. D.; MARTINS, L. H. P.; LOHMANN, L. G.; ASSUNÇÃO, P. A. C. L.; PEREIRA, E. C.; SILVA, C. F.; MESQUITA, M. R.; PROCÓPIO, L. C. **Guia da Reserva Ducke**: Guia de identificação das plantas vasculares de uma floresta de terra-firme na Amazônia Central. Editora INPA, 816p. 2002.

RODRIGUES, V. E. G.; CARVALHO, D. A. Levantamento etnobotânico de plantas medicinais no domínio do cerrado na região do Alto Rio Grande – Minas Gerais. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 25, n. 1, p. 102-123, jan./fev., 2001.

SÁ JÚNIOR, A.; CARVALHO, L. G.; SILVA, F. F.; ALVES, M. C. Application of the Köppen classification for climatic zoning in the state of Minas Gerais, Brazil. **Theor Appl Climatol**, v.108 p.1–7. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s00704-011-0507-8>>. Acesso em: 27 fev. 2018.

SENA, C. M. **Sementes Florestais**: Colheita, Beneficiamento e Armazenamento. Secretaria de Biodiversidade e Florestas. Departamento de Florestas. Programa Nacional de Florestas. Natal: MMA, 28p., 2008.

SILVA, P. E. M.; SANTIAGO, E. F.; DALOSO, D. M.; SILVA, E. M.; SILVA, J. O. Quebra de dormência em sementes de *Sesbania virgata* (Cav.) Pers. **Idesia**, Arica Chile, v. 29, n. 2, p. 39-45, 2011.

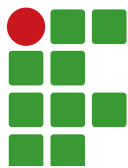
TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, M. I.; MURPHY, A. **Fisiologia vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 858p, 2017.

VASCONCELOS, L. H. C.; VENDRUSCULO, E. P.; VASCONCELOS, R. F.; SANTOS, M. M.; SELEGUINI, A. Utilização de métodos físicos e de fitorreguladores para superação de dormência em sementes de pinha. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia-MS, v. 2, n. 4, p. 20–24, out./dez. 2015.

**Received:** September 2, 2019

**Accepted:** January 31, 2020





## Medium and large sized mammals of the Cerrado domain of Tocantins state, Brazil

Wagner Tadeu Vieira Santiago<sup>1</sup>

Carlos Fonseca<sup>2</sup>

Antônio Carlos da Silva Zanzini<sup>3</sup>

Felipe Santana Machado<sup>4</sup>

Aloysio Souza de Moura<sup>5</sup>

Marco Aurélio Leite Fontes<sup>6</sup>

### Abstract

The Tocantins state is the youngest in Brazil. It is largely occupied by the Cerrado domain, a biodiversity hotspot. Despite estimates of the number of medium and large sized mammals, few studies cover the entire state broadly. In face of the threat that these animals has been suffering from the expansion of agro-pastoral and urban activities, here is presented a high mammal richness that was found on a wide geographic scale in 10 areas, which are distant at least 60 kilometers from each other, from the southern to the northern end of the state, data obtained over 10 years (2001-2011). Two methodologies were used for this study: the Irregular Path Methods and cameras-trap. Were recorded 47 mammal species, from which 14 species are considered in threat. Records of common species associated with endangered species reinforce the need for further studies to increase knowledge and understanding of the distribution of the mammal community by creating technical and scientific arguments for the development of effective conservation measures and even for the selection of protected areas to wildlife.

**Keywords:** Conservation. Phytophysiognomies. Biodiversity hotspot. *Panthera onca*. *Chrysocyon brachyurus*. *Pteronura brasiliensis*.

### Introduction

The state of Tocantins has 91.0 % of its territory covered by Cerrado (IBGE, 2007). This extension includes several phytophysiognomic types, such as savanna and forest formations (RIBEIRO; WALTER, 1998), reflecting in high faunistic richness. Considering the 6,977 species of fish, amphibians, reptiles, birds (LEWINSOHN; PRADO, 2005) and mammals (PAGLIA et al., 2012) from Brazil, 2,486.0 or 35.7% of the species, have its occurrence confirmed in the Cerrado domain (MMA, 2015).

1 Universidade de Aveiro, Campus Universitário de Santiago, Departamento de Biologia. Pesquisador colaborador. [biolex.ambiental@gmail.com](mailto:biolex.ambiental@gmail.com). Aveiro, Portugal, CEP 3810-193.

2 Universidade de Aveiro, Campus Universitário de Santiago, Departamento de Biologia. Professor Associado com habilitação. [cfonseca@ua.pt](mailto:cfonseca@ua.pt).

3 Universidade Federal de Lavras, Campus Universitário, Departamento de Ciências Florestais. Professor. [zanzini@ufla.br](mailto:zanzini@ufla.br).

4 Universidade Federal de Lavras, Campus Universitário, Departamento de Ciências Florestais. Pós-doutorando./Governo do Estado de Minas Gerais, Escola Estadual Profa. Ana Letro Staacks. Professor. [epilefsama@hotmail.com](mailto:epilefsama@hotmail.com).

5 Universidade Federal de Lavras, Campus Universitário, Departamento de Ciências Florestais. Doutorando. [thraupidaelo@yahoo.com.br](mailto:thraupidaelo@yahoo.com.br).

6 Universidade Federal de Lavras, Campus Universitário, Departamento de Ciências Florestais. Professor. [fontes@ufla.br](mailto:fontes@ufla.br)

At the same time that it stands out as a center of faunistic diversity, the *Cerrado* has undergone severe changes in its original vegetation cover. Estimates indicate that 55.0 % of its original vegetation has already been replaced by different forms of land use and occupation (KLINK; MACHADO, 2005). Specifically in the *Cerrado* of the Tocantins state, 31.0 % of its original vegetation was replaced by pastures (8 million hectares), temporary crops (731 thousand hectares) and permanent crops (9,400 hectares) (IBGE, 2013), with no estimates for other forms of use and occupation of the territory of the state.

The impacts of suppression and replacement of original vegetation implies loss of habitat, threatening the survival of ecological communities (FAHRIG, 2003; LAURANCE et al., 2011), including medium and large sized mammal communities. These mammals are animals above of one kilogram. Theoretical and empirical evidence indicates that the higher energetic demand of mammal species of higher body weight, the lowest densities, larger living areas and, consequently, a greater probability of extinction, particularly during the more advanced stages of habitat alteration (PURVIS et al., 2000; OLIFIERS et al., 2004; GRELE et al., 2006).

Studies of medium and large sized mammals' communities in the state of Tocantins are scarce and punctual (LIMA et al., 2005; CARMIGNOTTO; AIRES, 2011; NOGUEIRA et al., 2011). Therefore, there is a lack of papers dealing with species list and related to ecological issues from a conservationist perspective. Based on this scenario, this study presents the richness and composition of medium and large sized mammals, presenting an updated mammal species list for Tocantins state.

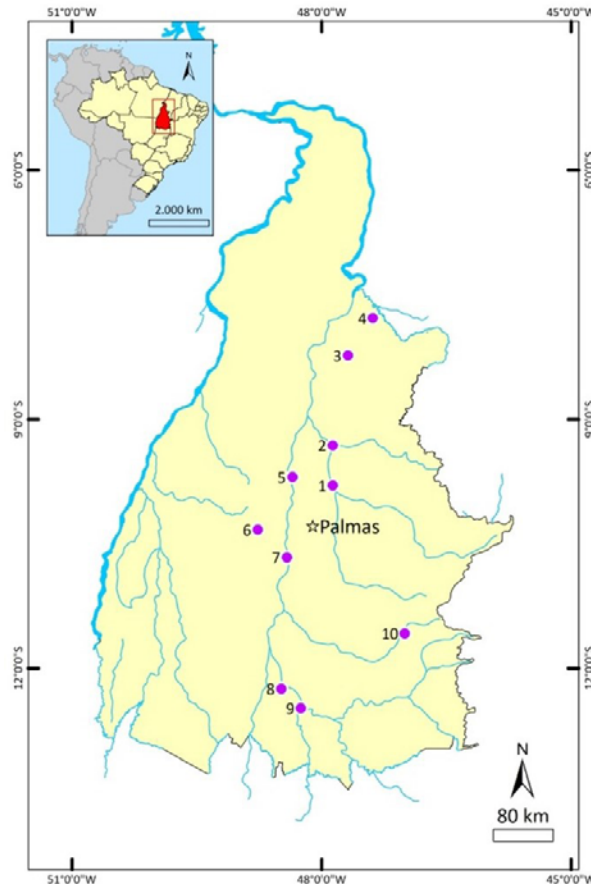
## Material and methods

### Study area

The study was conducted in the Cerrado domain in the state of Tocantins, Central-West, Brazil. The average annual precipitation in this area is approximately 1,500.0 mm, and the average temperature is 24.0 °C (LEEMANS; CRAMER, 1991). The dominant climate is semi-humid Tropical of Central Brazil (Aw, according to Köppen Classification) (ALVARES et al., 2014). The relief is characterized by being corrugated, with plateaus and small hills (MAMEDE et al., 2002).

For the present study, 10 areas were selected, which are distant at least 60.0 kilometers from each other, from the southern to the northern end of the state. These areas were chosen for the presence of phytophysionomies representative of the Brazilian Cerrado, including Riparian Forest; Gallery Forests; Cerradões; Typical Cerrado; Dense Cerrado; Dirt Fields; and Vereda (Figure 1, Supplementary Material 1).

All areas had suffered from human influence, and their conservation status has not been assessed. The riparian forest and gallery forest are closely linked to rivers, lakes, and others, protecting the main course. The Cerradões are a forest phytophysionomy on well-drained land, without association with water courses. The typical Cerrado, dense Cerrado and Vereda are savanical formations, where there is the presence of the defined tree and shrub-herbaceous strata, with the trees randomly distributed over the ground in different densities, without forming a continuous canopy. Finally, the Dirt Fields are characterized by the evident presence of shrubs and sub-shrubs, interspersed in the shrub-herbaceous layer (RIBEIRO; WALTER, 1998).

**Figure 1** – Location of the study's selected areas of the Cerrado domain of the Tocantins state, Brazil.

**Source:** Elaborated by the authors (2020).

## Sampling of mammals

This study brings a compilation of information collected between February 2001 and December 2011. Two methodologies were applied: the first consisted of Irregular Path Methods (IPM) similar to Machado et al. (2016). In this method, the pre-existing nonlinear tracks are traversed at a speed of approximately 1 km h<sup>-1</sup>, to obtain qualitative and quantitative data. The procedure records the number of individuals of each species that can be accurately identified when moving slowly along the route through the environment.

The second methodology consisted of the use of cameras-trap, performed with photographic traps arranged equidistant between each other by 250.0 meters, on average. It was used as a criterion the setting of camera traps on pre-existing trails, because medium and large mammals have the habit of use them. Photographic records were considered independent when the interval between photographs of the same photographic trap for the same species was one hour or longer (SRBEK-ARAUJO; CHIARELLO, 2013). Records were established according to the times of the photographic events in a 24-hour period.

The sample effort was obtained in two different ways for each methodology. These efforts between areas varied, and their demonstrations by area are presented in Supplementary Material 2. For the cameras-trap, the effort is in agreement with the formula used by Srбек-Araujo and Chiarello (2005), and presented a total of 3,464 traps per day.

## Data analysis

Estimates of the richness of medium and large mammals in the study areas were carried out from the species list. A presence-absence matrix was used to estimate richness and their respective confidence intervals, using the first-order Jackknife estimator. The software used was the *EstimateS Win 820* (COLWELL, 2009), with 1000 randomizations without replacement.

Confidence intervals were calculated for the richness estimator (Jackknife of first order) in order to verify whether the differences between the estimated richness among the physiognomic types of vegetation were significant. Decision-making was done by confidence interval inference ( $p < 0.05$ ) (ZAR, 1984). The 95% confidence intervals were used for the statistical comparison of the observed richness among vegetation types. The software used was *Statistica 7.0 Release* (STATSOFT INCORPORATION, 2005). In addition, it was estimated the sample efficiency in percentage.

The nomenclature and taxonomic classification follow Paglia et al. (2012). Recent taxonomic revisions were adopted, including *Cebus/Sapajus* (LYNCH-ALFARO et al., 2012) and *Leopardus* (TRIGO et al., 2013), as well as information on species and subspecies available in Gutiérrez and Marinho-Filho (2017).

## Results

Forty seven mammal species of medium and large size were recorded, belonging to nine orders, 19 families and 35 genera. The most representative order was *Carnivora* (17 species), followed by *Rodentia* (6), *Artiodactyla* (5), *Cingulata* (5) and *Primates* (4). The family with the highest number of genera was *Dasypodidae* (four genera and six species), followed by *Canidae* and *Mustelidae* (four genera and four species each), *Felidae* (three genera and six species), *Didelphimorphia* and *Procyonidae* (three genera and three species each), *Cervidae* (two genera and three species), *Myrmecophagidae* and *Tayassuidae* (two genera and two species each), *Dasyproctidae* (one genus and four species) and *Tapiridae*, *Aotidae*, *Alouatta*, *Callithrichidae*, *Cebidae*, *Leporidae*, *Caviidae*, *Cuniculidae* and *Erethizontidae* (one genus and one species each) (Table 1 and some records in Supplementary Material 3).

**Table 1** – List of species, physiognomic type of record, type of record and conservation category, according to MMA and IUCN (CO = *Cerradão*, CT = Typical *Cerrado*, MC = Riparian Forest, CD = Dense *Cerrado*, MG = Gallery forest, CS = Dirt Fields, VE = *Vereda*, PT = Camera Trap, OD = Direct Observation, RE = Rescue, T = Traces).

Taxon	Common name	Physiognomic types	Record	MMA	IUCN
DIDELPHIMORPHIA					
DIDELPHIDAE					
<i>Didelphis albiventris</i> Lund, 1840	White-eared opossum	MC, CO, CD, CT	AF, OD, RE		
<i>Didelphis marsupialis</i> Linnaeus, 1758	Common opossum	MC, CO	AF, OD, RE		
<i>Didelphis</i> sp.	Opossum	MC, CO, CT	OD, VE		
PILOSA					
MYRMECOPHAGIDAE					

(continue...)

Table 1 – Continuation

Taxon	Common name	Physiognomic types	Record	MMA	IUCN
<i>Myrmecophaga tridactyla</i> Linnaeus, 1758	Giant anteater	MC, CO, CD, CT, CS, VE	AF, OD, RE	Vulnerable	Vulnerable
<i>Tamandua tetradactyla</i> (Linnaeus, 1758)	Southern tamandua	MC, MG, CS, CD, CT	AF, OD, RE		
CINGULATA					
DASYPODIDAE					
<i>Cabassous unicinctus</i> (Linnaeus, 1758)	Southern naked-tailed armadillo	CO, CD, CT	OD		
<i>Euphractus sexcinctus</i> (Linnaeus, 1758)	Six-banded armadillo	CO, CD, CT, CS	AF, OD, RE		
<i>Dasybus novemcinctus</i> Linnaeus, 1758	Nine-banded armadillo	MG, CO, CD, CT, CS	AF, OD, RE		
<i>Dasybus septemcinctus</i> Linnaeus, 1758	Seven-banded armadillo	MG, CO, CD, CT	AF, OD, RE		
<i>Dasybus</i> sp.	Armadillo	CO	VE		
<i>Priodontes maximus</i> (Kerr, 1792)	Giant armadillo	CT	OD	Vulnerable	Vulnerable
PERISSODACTYLA					
TAPIRIDAE					
<i>Tapirus terrestris</i> (Linnaeus, 1758)	South American tapir	MC, CO, CT	OD	Vulnerable	Vulnerable
ARTIODACTYLA					
CERVIDAE					
<i>Blastocerus dichotomus</i> (Illiger, 1815)	Marsh deer	VE	OD, RE	Vulnerable	Vulnerable
<i>Mazama americana</i> (Erleben, 1777)	Red brocket	MC, CO, CD, CT	AF, OD, RE		
<i>Mazama gouazoubira</i> (G. Fischer, 1814)	Gray brocket	CO, CD, CT, CS	AF, OD, RE		
<i>Mazama</i> sp.		CO, CD, CT	OD		
TAYASSUIDAE					
<i>Pecari tajacu</i> (Linnaeus, 1758)	Collared peccary	MC, CO, CD, CT, CS	AF, OD, RE		
<i>Tayassu pecari</i> (Link, 1795)	White-lipped peccary	CO, CT	OD	Vulnerable	
PRIMATES					
AOTIDAE					
<i>Aotus infulatus</i> (Kuhl, 1820)	Night monkey	MC	RE		
ALOUATTA					

(continue...)

Table 2 – Continuation

Taxon	Common name	Physiognomic types	Record	MMA	IUCN
<i>Alouatta caraya</i> (Humboldt, 1812)	Black howler	MC, MG	AF, OD, RE		
CALLITRICHIDAE					
<i>Callithrix penicillata</i> (É. Geoffroy, 1812)	Black-tufted marmoset	MC, MG, CO	AF, OD, RE		
CEBIDAE					
<i>Sapajus libidinosus</i> (Spix, 1823)	Black-striped capuchin	MC, MG, CO	AF, OD, RE		
CARNIVORA					
CANIDAE					
<i>Cerdocyon thous</i> (Linnaeus, 1766)	Crab-eating fox	MC, CO, CD, CT, VE, CS	AF, OD, RE		
<i>Chrysocyon brachyurus</i> (Illiger, 1815)	Maned wolf	CT, VE, CS	OD, RE	Vulnerable	Near Threatened
<i>Lycalopex vetulus</i> (Lund, 1842)	Hoary fox	CO, CT	OD	Vulnerable	
CANIDAE					
<i>Speothos venaticus</i> (Lund, 1842)	Bush dog	CT	OD, VE	Vulnerable	Near Threatened
FELIDAE					
<i>Leopardus braccatus</i> (Cope, 1889)	Pantanal cat	MC	OD, RE	Vulnerable	
<i>Leopardus pardalis</i> (Linnaeus, 1758)	Ocelot	MC, CO, CT	OD, RE		
<i>Leopardus tigrinus</i> (Schreber, 1775)	Oncilla	MC, CO, CT, CD	OD, RE	In danger	Vulnerable
<i>Panthera onca</i> (Linnaeus, 1758)	Jaguar	CO	OD	Vulnerable	Near Threatened
<i>Puma concolor</i> (Linnaeus, 1771)	Cougar	CO	OD	Vulnerable	
<i>Puma yagouaroundi</i> (É. Geoffroy, 1803)	Jaguarundi	CO	OD, RE	Vulnerable	
MUSTELIDAE					
<i>Eira barbara</i> (Linnaeus, 1758)	Tayra	MC, MG, CO	OD		
<i>Galictis vittata</i> (Schreber, 1776)	Greater grison	MC, CO	OD, RE		
<i>Lontra longicaudis</i> (Olfers, 1818)	Neotropical otter	MC	OD		Near Threatened
<i>Pteronura brasiliensis</i> (Gmelin, 1788)	Giant otter	MC	OD	Vulnerable	Endangered
PROCYONIDAE					
<i>Nasua nasua</i> (Linnaeus, 1766)	South American coati	MC, MG, CO, CD, CT	AF, OD, RE		
<i>Potos flavus</i> (Schreber, 1774)	Kinkajou	MC	AF, OD, RE		

(continue...)

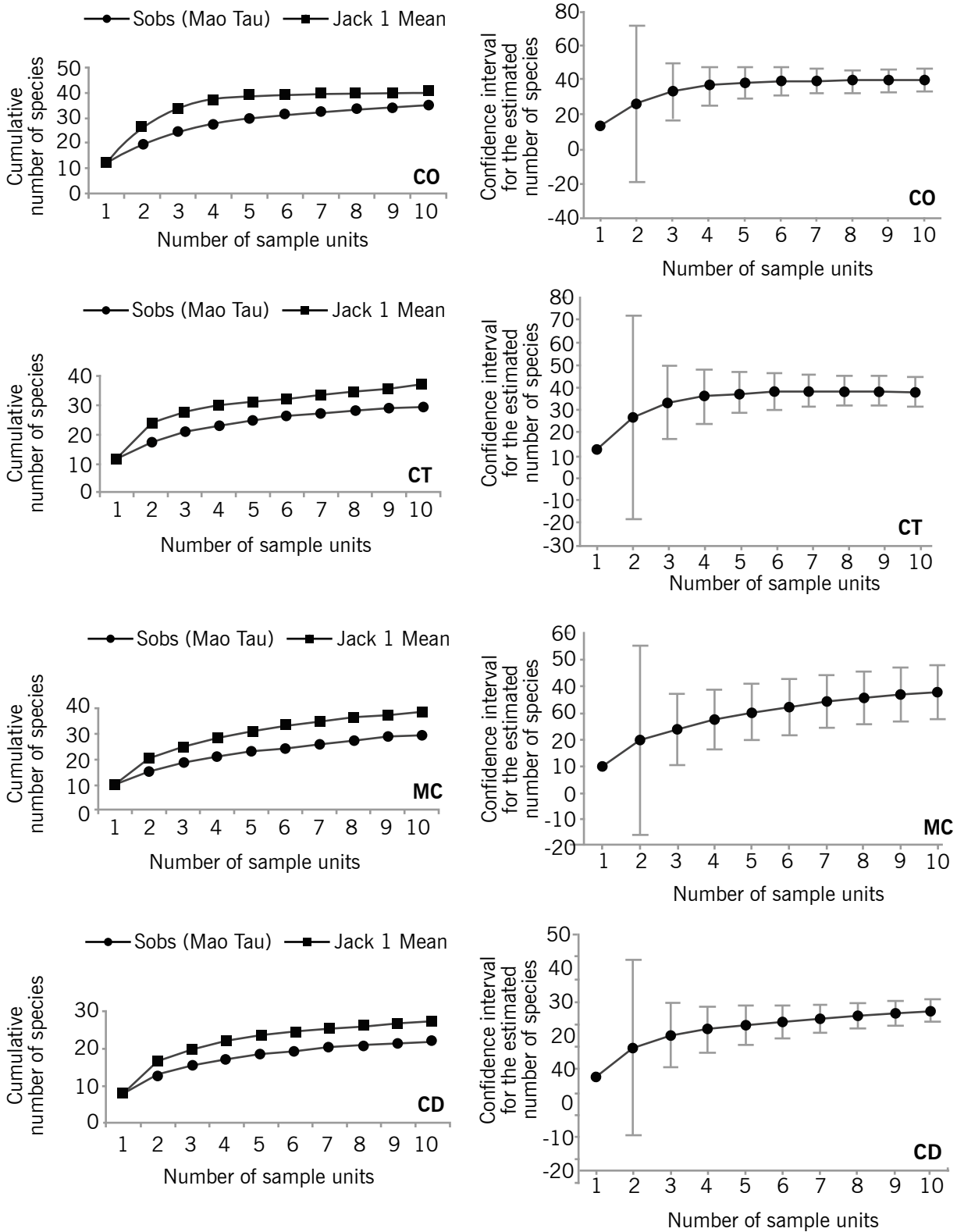
**Table 2** – Continuation

Taxon	Common name	Physiognomic types	Record	MMA	IUCN
<i>Procyon cancrivorus</i> (G. Cuvier, 1798)	Crab-eating raccoon	MC, MG, CO, CD, CT	AF, OD, RE		
LAGOMORPHA					
LEPORIDAE					
<i>Sylvilagus brasiliensis</i> (Linnaeus, 1758)	Tapeti	CO, CD, CT, CS	OD, RE		
RODENTIA					
CAVIIDAE					
<i>Hydrochoerus hydrochaeris</i> (Linnaeus, 1766)	Capybara	MC, MG	AF, OD		
CUNICULIDAE					
<i>Cuniculus paca</i> (Linnaeus, 1766)	Lowland paca	MC, MG, CO, CD, CT	AF, OD, RE		
DASYPROCTIDAE					
<i>Dasyprocta azarae</i> Lichtenstein, 1823	Azara's agouti	CO, CD, CT	AF, OD, RE		
<i>Dasyprocta leporina</i> (Linnaeus, 1758)	Red-rumped agouti	CO, CD, CT, CS	AF, OD, RE		
<i>Dasyprocta prymnolopha</i> Wagler, 1831	Black-rumped agouti	MC, CO, CD, CT	AF, OD, RE		
<i>Dasyprocta</i> sp.	Agouti	CO, CD, CT	OD		
ERETHIZONTIDAE					
<i>Coendou prehensilis</i> (Linnaeus, 1758)	Brazilian porcupine	MC, MG, CO, CD, CT	AF, OD, RE		

**Source:** Elaborated by the authors (2020).

Fourteen species of medium and large sized mammals are considered in threat categories, according to the MMA (2014); and 10, according to IUCN (2017) (Table 1). Figures 2 and 3 present cumulative species curves for observed richness (Sobs) and estimated richness (Jackknife of 1st order), and the estimated richness with their respective confidence intervals for medium and large sized mammal species, recorded in each of the seven physiognomic types of the studied vegetation. These curves show the accumulated number of new species collected as the sample effort increases, therefore, showing curves that do not reach the asymptotes.

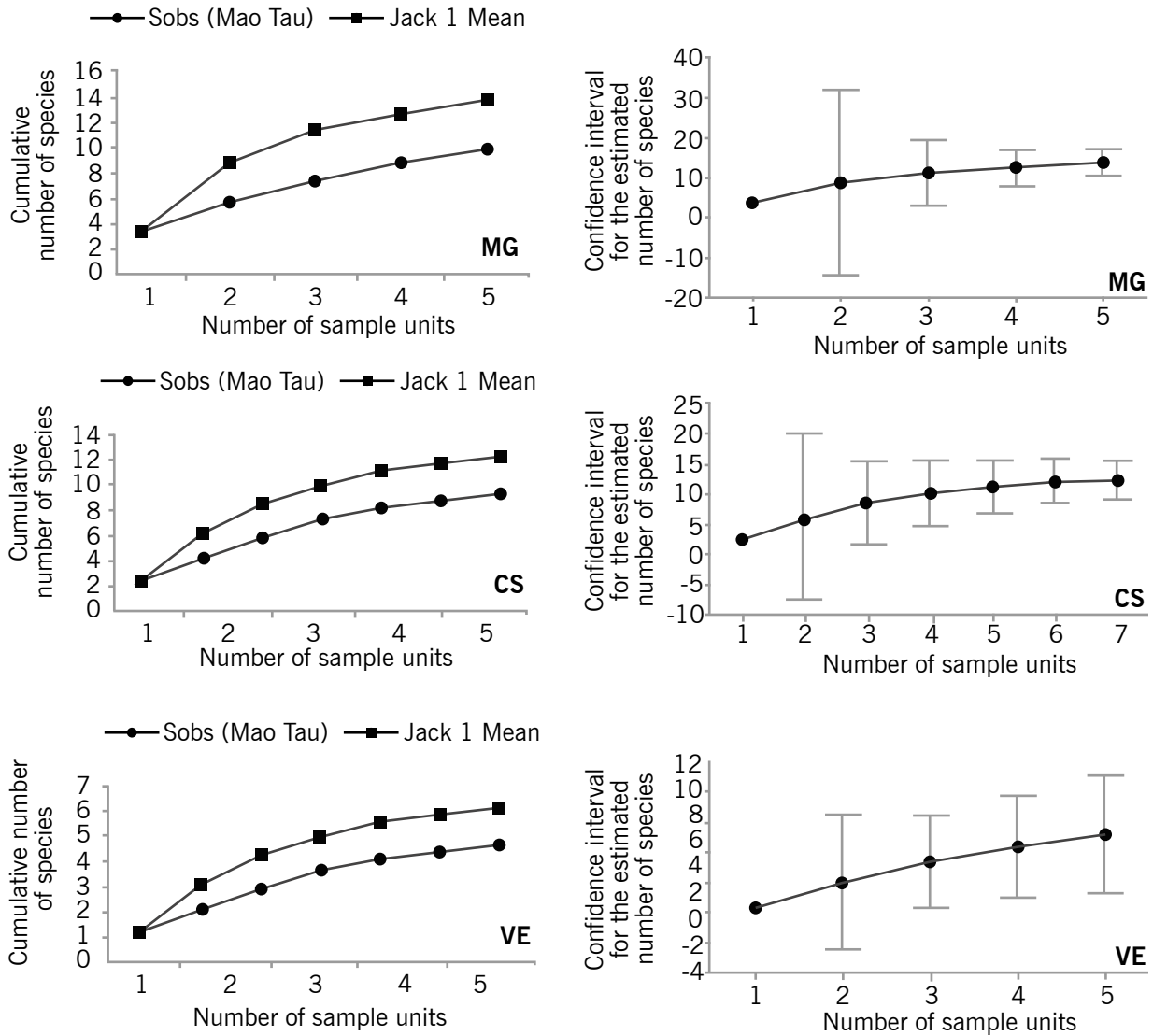
**Figure 2** – Cumulative species curves for the observed and estimated richness by means of the 1st order Jackknife estimator, with its respective confidence interval (right), for medium and large sized mammal species (CO = Cerradão, CT = Typical Cerrado, MC = Riparian Forest, CD = Dense Cerrado).



Source: Elaborated by the authors (2020).



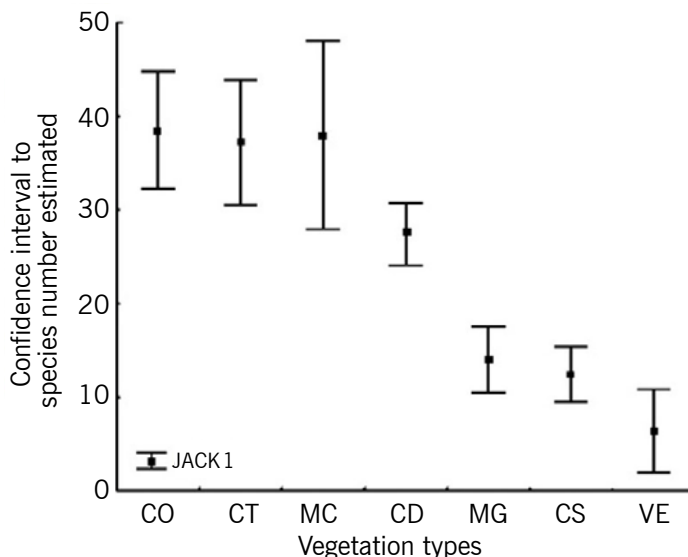
**Figure 3** – Cumulative species curves for the observed and estimated richness using the 1st order Jackknife estimator, with its respective confidence interval (right), for medium and large sized mammal species (MG = Gallery Forest, CS = Dirt field, VE = Vereda).



**Source:** Elaborated by the authors (2020).

Figure 4 shows the comparison between the confidence intervals for the estimates of richness of medium and large sized mammals, obtained by the non-parametric 1st order Jackknife estimator for each of the seven physiognomic types. The physiognomic types of vegetation *Cerradão*, Typical *Cerrado* and Riparian Forest did not present statistically significant differences of richness when compared to each other, but they showed statistically significant differences when compared to the following vegetation types: Gallery forest, Dirt field and *Vereda*, that presented the lowest values. These last three phytophysiognomies did not differ statistically from each other.

**Figure 4** – Graphical comparison of the confidence intervals for the richness estimated by the non-parametric 1st order Jackknife estimator for the medium and large mammal species in seven vegetation types of *Cerrado* (CO = *Cerradão*, CT = Typical *Cerrado*, MC = Riparian Forest, CD = Dense *Cerrado*, MG = Gallery forest, CS = Dirt field, VE = *Vereda*).



**Source:** Elaborated by the authors (2020).

## Discussion

The *Cerrado* region in the Tocantins state presents potentialities as a center of biodiversity. Studies in the *Cerrado* of Central Brazil have shown that the records of species vary between 14 and 32 species, with the use of different methodologies (STALLINGS et al., 1991; SCHNEIDER et al., 2000; ZAHER et al., 2001; RODRIGUES et al., 2002; SANTOS-FILHO; SILVA, 2002; SILVA JÚNIOR et al., 2007; OLIVEIRA et al., 2009; BOCCHIGLIERI et al., 2010; NUNES et al., 2012; RIBEIRO; MELO, 2013; ALVES et al., 2014). According to Marinho-Filho et al. (2002), the *Cerrado* and its physiognomic types of vegetation presents 184 species of mammals, of which 51 species are categorized as medium and large sized.

One of the first studies on medium and large sized mammal fauna was conducted by Lima et al. (2005), in which there was founded 36 species in the Jalapão State Park, in the Tocantins state. Later, Carmignotto and Aires (2011) found 24 species of small size and 17 of medium and large size in the Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins. Considering these studies, 42 mammal species of medium and large size have been currently recorded (LIMA et al., 2005; CARMIGNOTTO; AIRES, 2011; NOGUEIRA et al., 2011; NEGRÕES et al., 2011).

In this study, 47 species were recorded, representing an expressive contribution to the knowledge of the mammalian fauna, since it adds five species to the state's list. The species recorded in this study that were not observed in previous studies (LIMA et al., 2005; CARMIGNOTTO; AIRES, 2011; NOGUEIRA et al., 2011; NEGRÕES et al., 2011) are: *A. infulatus*; *L. braccatus*; *P. flavus*; *S. brasiliensis* and *D. prymnolopha*.

The species of this study corresponded to 92.0 % of all medium and large sized mammal species for the *Cerrado* domain (MARINHO-FILHO et al., 2002). The extensive list of species obtained

in the present study was due to three factors. The first one regards the geographical area where the study was conducted, that totalized ten areas, which ranged from approximately 530.0 kilometers on the longitudinal axis and 144.0 kilometers on the latitudinal axis. The second one regards the use of differentiated and complementary methodologies. According to Zanzini et al. (2008), the survey of mammals of medium and large size is defined as the simultaneous use of different methodologies of records of the species in order to obtain a list as complete as possible. Finally, the third factor is related to the current stage of scarcity of scientific studies on the fauna of the state of Tocantins (as mentioned by CARMINGNOTTO; AIRES, 2011; NOGUEIRA et al., 2011; NEGRÕES et al., 2011).

A total of 14 medium and large sized mammal species classified as threatened (MMA, 2014) were registered. These records of species in categories of threat corroborate to other studies carried out in the state of Tocantins (LIMA et al., 2005; CARMIGNOTTO; AIRES, 2011; NOGUEIRA et al., 2011) and demonstrate the imminent need for effective conservation work for these species. Some of the main forms of conservation and management *in locus* of these endangered mammals is landscape management, because the increase of natural (recovery) areas generates an increase in habitat availability and connectivity (COSTA et al., 2005). In addition, new wildlife conservation areas are suggested (COSTA et al., 2005), also based on the mammal composition (LIMA et al., 2005; CARMIGNOTTO; AIRES, 2011; NOGUEIRA et al., 2011).

The estimated richness was higher than the observed richness, which was expected, considering the occurrence of species (COLWELL; CODINGTON, 1994). The total sample efficiency was 89.7%. For each collection site, efficiency ranged from 62.5% to 86.7%, with a mean of 74.9%. This value is considered high when compared to other studies conducted in the *Cerrado* domain (BOCCHIGLIERI et al., 2010; CARMINGNOTTO; AIRES, 2011; RIBEIRO; MELO, 2013; SANTOS et al., 2013; NEGRÕES et al., 2011). The comparative analysis of the confidence intervals for the estimates showed that the physiognomic types *Cerradão*, Typical *Cerrado* and Riparian forest presented the highest values. Specifically, they reflect their structural complexity, which presents with higher canopy height, greater vertical stratification, greater tree cover and presence of water, in the case of Riparian forest (RIBEIRO; WALTER, 1998).

August (1983), when assessing the role of structural complexity on mammalian communities, found a positive correlation between mammalian richness and structural complexity. Fonseca (1989) and Sttaling et al. (1990) considered that the structural complexity of vegetation exerts influence on the richness in animal species, since it promotes the supply of a great variety of resources to be explored, a fact that allows the coexistence of a wide variety of species.

Studies conducted in the *Cerrado* of Central Brazil indicate that forest environments tend to maintain greater stability to climatic and microclimatic variations, especially in the dry seasons, when there are drastic reductions of available resources in open vegetation physiognomic types, a fact that determines the species (MARES; ERNST 1995; JOHNSON et al., 1999), increasing diversity. In this study, high richness was observed in medium and large sized mammal species for the Typical *Cerrado*, which is a type of savanna vegetation that presents as xeromorphic vegetation with tortuous trees, reaching up to seven meters, and tree cover varying between 20.0 % and 50.0 % (EITEN, 1994; RIBEIRO; WALTER, 1998). By these characteristics, it can be considered that the Typical *Cerrado* presents less complexity when compared to *Cerradão*, Dense *Cerrado* and Riparian Forest. Probably, the high richness of medium and large sized mammal species observed for the Typical *Cerrado* was due to the great territorial extension that this physiognomic type of vegetation occupies in relation to the other savanna formations of the *Cerrado* domain (EITEN, 1994).

A contrasting result obtained in the present study was the low diversity in medium and large mammal sized species observed for the Gallery forest. Studies conducted in Gallery forests of the *Cerrado* domain have shown that this phytophysiognomic type plays a major role in the diversity of the *Cerrado* fauna. In addition to acting as movement corridors for fauna, they also constitute environments of climatic and microclimatic stability, high structural complexity and provide shelter, food and water during the long dry season (REDFORD; FONSECA, 1986; SANTOS-FILHO; SILVA, 2002; RIBEIRO; MARINHO-FILHO, 2005; RIBEIRO; MELO, 2013).

The current conservation status of the *Cerrado* domain is worrying, since half of the original 2 million km<sup>2</sup> of *Cerrado* were transformed into planted pastures, annual crops and other types of land use (KLINK; MACHADO, 2005). Finally, the results of this compilation demonstrate that this expansion of agroforestry borders may endanger the diversity of medium and large sized mammals, since these species require large living areas for survival. For this reason, it is suggested that more studies are carried out for a better knowledge about this mammal diversity, as well as the creation of connected protected areas for conservation and preservation of the fauna described in this article.

## Acknowledgements

The authors would like to thank the editor and the anonymous reviewers for suggestions that greatly improved the final version of this manuscript.

## Mamíferos de médio e grande porte do domínio do Cerrado do estado do Tocantins, Brasil

### Resumo

O Tocantins é o estado mais jovem do Brasil. É amplamente ocupado pelo domínio do Cerrado, um *hotspot* mundial de biodiversidade. Apesar das estimativas do número de mamíferos de médio e grande porte, poucos estudos abrangem todo o estado de forma ampla. Diante da ameaça que esses animais vêm sofrendo com a expansão das atividades agropastoris e urbanas, aqui se apresenta uma grande riqueza de mamíferos que foi encontrada em larga escala geográfica em 10 áreas, distantes pelo menos 60 quilômetros de cada uma, do extremo sul ao extremo norte do estado, e com dados obtidos ao longo de 10 anos (2001-2011). Duas metodologias foram utilizadas para este estudo: o método de trajetos irregulares e armadilhas fotográficas. Foram registradas 47 espécies de mamíferos, das quais 14 espécies estão ameaçadas. Registros de espécies comuns associadas a espécies ameaçadas de extinção reforçam a necessidade de novos estudos para aumentar o conhecimento e a compreensão da distribuição da comunidade de mamíferos, criando argumentos técnicos e científicos para o desenvolvimento de medidas eficazes de conservação e até mesmo para a seleção de áreas protegidas para a vida selvagem.

**Palavras-chave:** Conservação. Fitofisionomias. *Hotspot* de biodiversidade. *Panthera onca*. *Chrysocyon brachyurus*. *Pteronura brasiliensis*.

## References

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728. 2014. Available at <<http://10.1127/0941-2948/2013/0507>> Access in 28 set 2019.
- ALVES, R. J. V.; SILVA, N. G.; OLIVEIRA, J. A.; MEDEIROS, D. Circumscribing campo rupestre-megadiverse Brazilian rocky montane savanas. **Brazilian Journal of Biology**, v. 74, n. 2, p. 355-362. 2014. Available at <<http://10.1590/1519-6984.23212>> Access in 28 set 2019.
- AUGUST, P. V. The role of habitat complexity and heterogeneity in structuring tropical mammal communities. **Ecology**, v. 64, n. 6, p. 1495-1507. 1983. Available at <<http://10.2307/1937504>> Access in 28 set 2019.
- BOCCHIGLIERI, A.; MENDONÇA, A. F.; HENRIQUES, R. P. B. Composição e diversidade de mamíferos de médio e grande porte no Cerrado do Brasil central. **Biota neotropical**, v. 10, n. 3, p. 169-176. 2010. Available at <<http://10.1590/S1676-06032010000300019>> Access in 28 set 2019.
- CARMIGNOTTO, A. P.; AIRES, C. A. C. Non-volant mammals (Mammalia) from Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins. **Biota Neotropica**, v. 11, n. 1, p. 313-328. 2011. Available at <<http://10.1590/S1676-06032011000100029>> Access in 28 set 2019.
- COLWELL, R. K.; CODDINGTON, J. A. Estimating terrestrial biodiversity through extrapolation. **Philosophical Transactions of the Royal Society**, v. 345, p. 101-118. 1994. Available at <<http://10.1098/rstb.1994.0091>> Access in 28 set 2019.
- COLWELL, R. K. **EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples**. Version 8.2. User's Guide and application. 2009. Available at <<http://purl.oclc.org/estimates>> Access in 20 Jul 2018.
- COSTA, L. P.; LEITE, Y. L. R.; MENDES, S. L.; DITCHFIELD, A. D. Mammal conservation in Brazil. **Conservation Biology**, v. 19, n. 3, p. 672-679, 2005.
- EITEN, G. Vegetação do cerrado. Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas. p. 17-73. 1994. In: Pinto M N. **Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas**, 2<sup>a</sup> ed. Editora Universidade de Brasília, Brasília.
- FAHRIG, L. Effects of habitat fragmentation on biodiversity. **Annual review of ecology, evolution, and systematics**, v. 34, n. 1, p. 487-515. 2003. Available at <<http://10.1146/annurev.ecolsys.34.011802.132419>> Access in 20 Jul 2018.
- FONSECA, G. A. B. Small mammal species diversity in Brazilian tropical primary and secondary forests of different sizes. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 6, n. 3, p. 381-422. 1989. Available at <<http://10.1590/S0101-81751989000300001>> Access in 20 Jul 2018.

GRELLE, C. E. V.; PAGLIA, A. P.; SILVA, H. S. Análise dos Fatores de Ameaça de Extinção: Estudo de Caso com os Mamíferos Brasileiros. p. 362-374. 2006. In: ROCHA C. F. D.; BERGALLO, H. G.; VAN SLUYS, M.; ALVES, M. A. S. **Biologia da Conservação: Essências**, Rima Editora, São Carlos, Brazil.

GUTIÉRREZ, E. E.; MARINHO-FILHO, J. The mammalian faunas endemic to the Cerrado and the Caatinga. **ZooKeys**, v. 644, p. 105–157. 2017. Available at <<http://10.3897/zookeys.644.10827>> Access in 20 Jul 2018.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **Mapa de Biomas do Brasil e o Mapa da Vegetação do Brasil**. 2007. Available at <[http://geoftp.ibge.gov.br/mapas\\_tematicos/mapas\\_murais/biomas.pdf](http://geoftp.ibge.gov.br/mapas_tematicos/mapas_murais/biomas.pdf)> Access in 20 Jul 2018.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. 2013. Available at <<http://www.ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?sigla=to>> Access in 20 Jul 2018.

IUCN. **The IUCN Red List of threatened species**. 2017. Available at <<http://www.iucnredlist.org>> Access in 20 Jul 2018.

JOHNSON, M. A.; SARAIVA, P. M.; COELHO, D. The role of gallery forests in the distribution of Cerrado mammals. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 59, n. 3, p. 421-427. 1999. Available at <<http://10.1590/S0034-71081999000300006>> Access in 20 Jul 2018.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. A. Conservação do Cerrado brasileiro. **Megadiversidade**, v. 1, xp. 147-155. 2005.

LAURANCE, W. F.; CAMARGO, J. L. C.; LUIZÃO, R. C. C.; LAURANCE, S. G.; PIMM, S. L.; BRUNA, E. M.; STOUFFER, P. C.; BRUCE, W.; BENÍTEZ-MALVIDO, J.; VASCONCELOS, H. L.; HOUTAND, K. S. V.; ZARTMAN, C. E.; BOYLE, S. A.; DIDHAM, R. K.; ANDRADE, A.; LOVEJOY, T. E. The fate of Amazonian forest fragments: a 32-year investigation. **Biological Conservation**, v. 144, p. 56-67. 2011. Available at <<http://10.1016/j.biocon.2010.09.021>> Access in 20 Jul 2018.

LEEMANS, R.; CRAMER, W. P. **The IIASA database for mean monthly values of temperature, precipitation, and cloudiness on a global terrestrial grid**. International institute for applied systems analysis, Laxenburg, Austria. 1991.

LEWINSOHN, T. M.; PRADO, P. I. Quantas espécies há no Brasil. **Megadiversidade**, v. 1, n. 1, p. 36-42. 2005.

LIMA, J. F. S.; HIDASI, J.; VEIGA, N. Estudo da diversidade de mamíferos de médio e grande porte da região do Jalapão, Tocantins, Brasil. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**, v. 1, n. 2, p. 233-240. 2005.

LYNCH-ALFARO, J. W.; SILVA JÚNIOR, J. S.; RYLANDS, A. B. How different are robust and gracile capuchin monkeys? An argument for the use of *Sapajus* and *Cebus*. **American Journal of Primatology**, v. 74, n. 4, p. 273-286. 2012. Available at <<http://10.1002/ajp.22007>> Access in 20 Jul 2018.

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. Available at <<http://10.15560/12.5.1962>> Access in 20 Jul 2018.

MAMEDE, F.; GARCIA, P. Q.; SOUSA JÚNIOR, W. C. **Análise da viabilidade sócio-econômico-ambiental da transposição de águas da bacia do rio Tocantins para o rio São Francisco na região do Jalapão/TO**. 2002. Available at [http://www.conservation-strategy.org/Reports/pro\\_texto\\_final.pdf](http://www.conservation-strategy.org/Reports/pro_texto_final.pdf). Access in 10 Apr 18.

MARES, M. A.; ERNEST, K. A. Population and community ecology of small mammals in a gallery forest of central Brazil. **Journal of Mammalogy**, v. 76, n. 3, p. 750-768. 1995. Available at <<http://10.2307/1382745>> Access in 20 Jul 2018.

MARINHO-FILHO, J.; RODRIGUES, F. H.; JUAREZ, K. M. **The Cerrado mammals: diversity, ecology, and natural history**. The Cerrados of Brazil: Ecology and natural history of a neotropical savanna. p. 266-284. 2002.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. **Biomás**. 2015. Available at <<http://www.mma.gov.br/biomás/cerrado>> Access in 09 Jan 18.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. **Lista de espécies ameaçadas**. 2014. Available at <[http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/biodiversidade/fauna-brasileira/avaliacao-do-risco/PORTARIA\\_N%C2%BA\\_444\\_DE\\_17\\_DE\\_DEZEMBRO\\_DE\\_2014.pdf](http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/biodiversidade/fauna-brasileira/avaliacao-do-risco/PORTARIA_N%C2%BA_444_DE_17_DE_DEZEMBRO_DE_2014.pdf)> Access in 13 may 18.

NEGRÕES, N.; REVILLA, E.; FONSECA, C.; SOARES, A. M. V. M.; JÁCOMO, A. T. T.; SILVEIRA, L. Private forest reserves can aid in preserving the community of medium and large-sized vertebrates in the Amazon arc of deforestation. **Biodiversity and Conservation**, v. 20, n. 3, p. 505-518. 2011. Available at <<http://10.1007/s10531-010-9961-3>> Access in 13 may 18.

NOGUEIRA, C.; RIBEIRO, S.; COSTA, G. C.; COLLI, G. R. Vicariance and endemism in a Neotropical savanna hotspot: distribution patterns of Cerrado squamate reptiles. **Journal of Biogeography**, v. 38, n. 10, p. 1907-1922. 2011. Available at <<http://10.1111/j.1365-2699.2011.02538.x>> Access in 13 may 18.

NUNES, A. V.; SCOSS, L. M.; LESSA, G. M. Composição e abundância relativa dos mamíferos terrestres de médio e grande porte do Parque Estadual da Serra do Brigadeiro, Minas Gerais, Brasil. **Biotemas**, v. 25, n. 3, p. 205-216. 2012. Available at <<http://10.5007/2175-7925.2012v25n3p205>> Access in 13 may 18.

OLIFIERS, N.; VIEIRA, M. V.; GRELE, E. V. Geographic range and body size in neotropical marsupials. **Global Ecology and Biogeography**, v. 13, p. 439-444. 2004. Available at <<http://jstor.org/stable/3697574>> Access in 13 may 18.

OLIVEIRA, V. B.; CÂMARA, E. M. V. C.; OLIVEIRA L. C. Composição e caracterização da mastofauna de médio e grande porte do Parque Nacional da Serra do Cipó, Minas Gerais, Brasil. **Mastozoologia Neotropical**, v. 16, n. 2, p. 355-364. 2009.



PAGLIA, A. P.; FONSECA, G. A. B.; RYLANDS, A. B.; HERMANN, G.; AGUIAR, L. M. S.; 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. **Annotated checklist of Brazilian mammals**. Occasional Papers in Conservation Biology v. 6 , p. 1-76. 2012.

PURVIS, A.; GITTLEMAN, J. L.; COWLISHAW, G.; MACE, G. M. Predicting extinction risk in declining species. **Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences**, v. 267, n. 1456, p. 1947-1952. 2000. Available at <<http://10.1098/rspb.2000.1234>> Access in 13 may 18.

REDFORD, K. H.; FONSECA, G. A. B. The role of gallery forests in the zoogeography of the Cerrado's non-volant mammalian fauna. **Biotropica**, v. 18, p. 126-135. 1986.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do bioma Cerrado. 1998. In: Sano, S. M., Almeida, S. P. **Cerrado: ambiente e flora**, EMBRAPA-CPAC, Planaltina, p. 89-166.

RIBEIRO, P.; DE MELO, F. R. Mamíferos de médio e grande porte de uma área agricultável em Terezópolis (GO) com notas sobre métodos de amostragem. **Neotropical Biology & Conservation**, v. 8, n. 2, p. 68-78. 2013. Available at <<http://10.4013/nbc.2013.82.02>> Access in 13 may 18.

RIBEIRO, R.; MARINHO-FILHO, J. Estrutura da comunidade de pequenos mamíferos (Mammalia, Rodentia) da Rodentia Estação Ecológica de Águas Emendadas, Planaltina, Distrito Federal, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 22, n. 4, p. 898-907. 2005. Available at <<http://10.1590/S0101-81752005000400014>> Access in 13 may 18.

RODRIGUES, F. H. G.; SILVEIRA, L.; JÁCOMO, A. T. A.; CARMIGNOTTO, A. P.; BEZERRA, A. M. R.; COELHO, D. C.; GARBOGINI, H.; PAGNOZZI, J.; HASS, A. Composição e caracterização da fauna de mamíferos do Parque Nacional das Emas, Goiás, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 19, n. 2, p. 589-600. 2002. Available at <<http://10.1590/S0101-81752002000200015>> Access in 13 may 18.

SANTOS-FILHO, M.; DA SILVA, M. N. F. Uso de habitats por mamíferos em área de Cerrado do Brasil Central: um estudo com armadilhas fotográficas. **Revista Brasileira de Zociências**, v. 4, n. 1, p. 57-75. 2002.

SCHNEIDER, S.; ROESSLI, D.; EXCOFFIER, L. **Arlequin: a software for population genetics data analysis. User manual ver 2.000**. Genetics and Biometry Lab, Dept. of Anthropology, University of Geneva; Geneva. 2000.

SILVA JR, N. J.; SILVA, H. L. R.; COSTA, M. C.; BUONONATO, M. A.; TONIAL, M. L. S.; RIBEIRO, R. S.; MOREIRA, L. A.; DE MOURA PESSOA, A. Avaliação Preliminar da Fauna Silvestre Terrestre do Vale do Rio Caiapó, Goiás: implicações para a conservação da biodiversidade regional. **Estudos**, v. 34, n. 6, p. 1057-1094. 2007.

SRBEK-ARAUJO, A. C.; CHIARELLO, A. G. Influence of camera-trap sampling design on mammal species capture rates and community structures in southeastern Brazil. **Biota Neotropica**, v. 13, n. 2, p. 51-62. 2013. Available at <<http://10.1590/S1676-06032013000200005>> Access in 13 may 18.



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. Available at <<http://10.1017/S0266467404001956>> Access in 13 may 18.

STALLINGS, J. R.; FONSECA, G. A. B.; PINTO, L. P. D. S.; AGUIAR, L. M. D. S.; SÁBATO, E. L. Mamíferos do Parque Florestal Estadual do Rio Doce, Minas Gerais, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 7, n. 4, p. 663-77. 1991. Available at <<http://10.1590/S0101-81751990000400022>> Access in 13 may 18.

STALLINGS, J. R.; PINTO, L. P. S.; AGUIAR, L.; SÁBATO, E. L. A importância dos distúrbios intermediários na manutenção da diversidade da fauna em uma floresta tropical. 1990. In: MARTINS, R. P.; LOPES, F. S. **Atas do encontro de ecologia evolutiva**. São Paulo, Academia de Ciências de São Paulo, Publicações ACIESP, v. 69, p. 43-48.

STATSOFT INC., STATISTICA (DATA ANALYSE SOFTWARE SYSTEM), VERSION 7.0, 2005. Available at <<http://www.statsoft.com>> Access in 10 jun 18.

TRIGO, T. C.; SCHNEIDER, A.; OLIVEIRA, T. G.; LEHUGEUR, L. M.; SILVEIRA, L.; FREITAS, T. R. O.; EIZIRIK, E. Molecular Data Reveal Complex Hybridization and a Cryptic Species of Neotropical Wild Cat. **Current Biology**, v. 23, n. 24, p. 2528-2533. 2013. Available at <<http://10.1016/j.cub.2013.10.046>> Access in 10 jun 18.

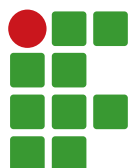
ZAHER, H. E. D. **Relatório sobre o Levantamento Preliminar da Fauna de Vertebrados Terrestres do Parque Nacional da Serra das Confusões**, Piauí. 2001. 41p.

ZANZINI, A. C. S.; GREGORIN, R.; OLIVEIRA, J. E. **Levantamento, análise e diagnóstico de pequenos, médios e grandes mamíferos em estudos ambientais**. Lavras, UFLA/FAEPE. 2008. 191p.

ZAR, J. H. **Biostatistical analysis**. Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey. 1984.

**Received:** October 30, 2019

**Accepted:** March 23, 2020



# Influence of surrounding vegetation on the diversity of social wasps on coffee culture

Gabriel de Castro Jacques<sup>1</sup>

Bruna SÍntia Silva de Araújo<sup>2</sup>

## Abstract

Every year, coffee crops are affected by pests and diseases that hamper productivity and grain quality. Chemicals used to tackle these issues not only increase production cost, but may also lead to serious problems in the long term. The use of biological control for the management of pest aims to reduce the use of such products and preserve the environment. For being natural predators of these pest insects, social wasps are an effective alternative for biological control. Attractive traps were installed in two areas of coffee culture: one with predominant orchard vegetation, called Orchard-coffee; and the other with an Atlantic forest fragment as predominant surrounding vegetation, called Forest-coffee. The aim was to compare the diversity and abundance of social wasp species that visited the two areas. Bray-Curtis (dis-)similarity between the two areas was low, 0.45, showing surroundings influence in both areas. In total, 208 individuals of 11 species and 4 different genera were collected, with a total Shannon-Wiener (H') diversity index of 1.591. Orchard-coffee showed a higher number of social wasps, whereas Forest-coffee showed a higher diversity index. The most abundant species in both areas was *Polistes versicolor*, which can reduce damage caused by coffee pests and has a great potential use in biological control programs.

**Keywords:** Polistinae. Biological control. Atlantic Forest. Orchard.

## Introduction

Coffee culture plays a pivotal role in Brazilian agribusiness due to its booming market that generates income for small and large producers. As coffee is the economic basis of various properties, pests and diseases that may compromise crop success pose an increasing concern (REIS et al., 2002). Leaf miner, *Leucoptera coffella* (Guérin-Mèneville, 1842) (Lepidoptera: Lyonetiidae) and coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867) (Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae) are two of the main indexed pests, as they cause serious and often irreversible damage (REIS et al., 2002).

Brazil is one of the greatest pesticide consumers in the world. The incorrect and excessive use of these chemicals directly affects a wide ecological chain, granting resistance to pests and diseases, reducing pollinating insect population, and harming human health (CASSAL et al., 2014). The search for alternative practices and biological products aims to reduce the impact of these chemicals.

The coffee culture environment directly influences the diversity of natural enemies that may be housed within it (FERNANDES, 2013). Agroecosystem diversity increases natural enemy diversity (TOMAZELLA et al., 2018). For providing different habitats and food resources, the overall vegetation

1 Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG) – Campus Bambuí. Professor. [gabriel.jacques@ifmg.edu.br](mailto:gabriel.jacques@ifmg.edu.br). Rodovia Bambuí/Medeiros, Km 5, Fazenda Varginha, Bambuí/MG, 38900-000.

2 Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG) – Campus Bambuí. Discente. [brunaagro8@yahoo.com.br](mailto:brunaagro8@yahoo.com.br).

and ecosystem directly influence social wasp communities due to variations in temperature, relative humidity, and amount of shade of the environment (SANTOS et al., 2009).

Wasps belong to the order Hymenoptera and family Vespidae (CARPENTER, 1993). Over 4,600 species of these insects are described worldwide, with solitary and social behavior. Whereas the subfamilies Euminae, Massarinae, and Euparaginae present solitary behavior, Polistinae, Vespinae, and Stenogastrinae present social behavior (CARPENTER; MARQUES, 2001). In Brazil, the only social wasps are those of the subfamily Polistinae, which occur in 21 genus and 344 species (HERMES et al., 2019).

Wasps forage and return to the nest with macerated prey, which are divided among other wasps in the colony and later with immature larvae of the same species (ELISEI et al., 2010). The prey most captured by social wasps (around 90.0 %) are insects of the order Lepidoptera (PREZOTO et al., 2006; BICHARA-FILHO et al., 2009). Several social wasp species have been reported as efficient coffee pest predators, responsible for nearly 70.0 % of biological control in coffee plantations, such as *Agelaia pallipes* (Olivier, 1972), *Brachygastra lecheguana* (Latreille, 1824), *Polistes* sp., *Polybia ignobilis* (Haliday, 1836), *Polybia occidentalis* (Olivier, 1791), *Polybia scutellaris* (White, 1841), *Polybia sericea* (Olivier, 1971), *Protoneectarina sylveirae* (De Saussure, 1854), and *Synoeca surinama cyanea* (Fabricius, 1775) (PARRA et al., 1977; PERIOTO et al., 2011; REIS et al., 2002). (PARRA et al., 1977; PERIOTO et al., 2011; REIS et al., 2002) (REIS et al., 2002).

To identify the ideal wasp species to perform biological control, insects in predominantly agricultural environments must be identified and inventoried, as well as factors that may contribute to their effectiveness in pest control (PREZOTO et al., 2006). Given that, the present study aims to investigate the diversity and abundance of social wasps that visit coffee culture, comparing different surrounding vegetations.

## Materials and methods

This research was conducted in the coffee sector of the Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG), at *Campus Bambuí*. The sector is composed of two areas where coffee cultures are established. The first area (FIGURE 1), "Orchard-coffee", pertains to the cultivar Rubi. It is 8 years old, covers 5,263.41 m<sup>2</sup>, and vegetation surrounding coffee tree is predominantly composed of fruit trees, such as: Orange (*Citrus sinensis*), Guava (*Psidium guajava*), Acerola (*Malpighia emarginata*), Lemon (*Citrus limonum*), Passion Fruit (*Passiflora edulis f. flavicarpa*), Peach (*Prunus persica*), among others.

**Figure 1** – “Orchard-coffee” area, which surrounding vegetation are different fruit trees. Six attractive traps for social wasps were randomly distributed in each study area.



Source: Google Earth (2020).

The second area (FIGURE 2), “Forest-coffee,” belongs to the cultivar Acaíá cerrado. It is also 8 years old, covers 2,508.44 m<sup>2</sup>, and its surrounding vegetation is a fragment of the Atlantic Forest, with large trees that provide shading to part of the coffee trees. The same management system is employed in both areas, with little chemical use.

**Figure 2** – “Forest-coffee” area, which surrounding vegetation is predominantly closed forest. Six attractive traps for social wasps were randomly distributed in each study area.



Source: Google Earth (2020).

Social wasps were collected using six attractive traps randomly distributed per area. From September 2018 to April 2019, 11 collections were performed. Traps were made from two-liter plastic bottles with three triangular openings (2.0 x 2.0 x 2.0 cm) to allow wasps to enter (JACQUES

et al., 2012). An attractive solution of water and honey, in ratio 1:1, was inserted within the traps (SOUZA; PREZOTO, 2006), which were then hung on stakes approximately 1.0 m from the ground between coffee tree lines.

Traps were exposed in the field for a week and then collected to avoid the deterioration of insects. Wasps captured by the attractive traps were placed in plastic containers with 70% alcohol, pinned, and later identified by Prof. Gabriel C. Jacques (IFMG – *Campus Bambuí*) and Prof. Marcos Magalhães de Souza (Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais – *Campus Inconfidentes*).

Species diversity and dominance for total and each area were calculated by the Shannon-Wiener diversity index ( $H'$ ) and Berger-Parker dominance index ( $D_{pb}$ ), using the PAST software (HAMMER et al., 2005). Each species relative collection frequency was also calculated. Individuals abundance and species richness within each area underwent variance analysis; means were compared by the T-test at 5% significance level, using the PAST statistical program (HAMMER et al., 2005). A cluster analysis between social wasp faunas collected in the two studied areas was performed, using the Bray-Curtis (dis-)similarity index by the PAST software (HAMMER et al., 2005), which considers species occurrence and abundance in each area.

## Results and discussion

We captured 208 social wasps, of 11 species and 4 different genera, with a total diversity index of 1.591 (TABLE 1). The study site is a very diverse environment; it comprises habitats that offer wasps greater protection against predatory insects and a high amount of food resources and components for such vespids survival, allowing different species to survive (JACQUES et al., 2015)

For the first time on *Campus Bambuí*, it was founded the specie *Polybia punctata* du Buysson, 1907. It was present in a significant number of individuals within the two studied coffee areas, corroborating studies on diversity previously conducted in this place (JACQUES et al., 2015; JACQUES et al., 2018).

We captured 150 individuals in the “Orchard-coffee,” with an average of  $13.63 \pm 3.98$  individuals per collection, and only 58 in “Forest-coffee”, with an average of  $5.27 \pm 3.31$  (Table 1). The greater abundance of social wasps in Orchard-coffee ( $p= 4.88 \times 10^{-6}$ ) may be associated with the high diversity of fruit trees in its surroundings, as wasps are attracted to places wealthier in resources for their survival. Thus, these vespids have an opportunistic habit, being present in environments with a greater number of herbivorous insects (SANTOS et al., 2009). Fruits and pests that attack orchards are themselves food to these insects, whereas trees function as a nesting site.

The large trees that partially shade coffee trees in the Forest-coffee may have influenced the presence of wasps in the area, as shading may create a physical barrier that hinders predatory wasps to locate their prey, causing them to forage (AMARAL et al., 2010).

*Polistes versicolor* (Oliver, 1917) was the most collected species in the two studied areas, with 101 individuals in the Orchard-coffee (67.33% frequency) and 26 in the Forest-coffee (44.83% frequency). This high representativeness corroborates studies conducted by Jacques et al. (2015), who found this same species to be dominant when gathering the diversity of social wasp species in the *Campus Bambuí* – as it is a highly sinanthropic species that nests well in agricultural and urban environments.

*P. versicolor* are excellent predators, specially of insects of the Lepidoptera order, which corresponds to 95% of its captured prey used in feeding (PREZOTO et al., 2006). Some studies found



significant results in this wasp predation over the leaf miner, *L. coffeella*, which belongs to the order Lepidoptera (ELISEI et al., 2010).

Among the 11 species collected, *P. versicolor*, *Polybia ignobilis* (Haliday, 1836), *Polybia occidentalis* (Olivier, 1791), *Polybia sericea* (Olivier, 1791), and *Synoeca cyanea* (Fabricius, 1775) were reported as efficient predators of coffee pests (ELISEI et al., 2010; PARRA et al., 1977; PERIOTO et al., 2011; REIS et al., 2002).

These predators contribute to reducing the number of pests even at low population levels, consequently reducing infestation peaks (DEBACH, 1951). *Polistes simillimus* Zikán, 1951, *Polistes ferreri* (Saussure, 1853), *Polybia jurinei* de Saussure, 1854, and *Polybia punctata* du Buysson, 1907, were reported foraging over coffee culture (FREITAS et al., 2015; TOMAZELLA et al. 2018). However, further studies are necessary to indicate the efficacy of these species as predators of this crop pests.

The average species richness per collection was similar in Orchard and Forest-coffee ( $p=0.0261$ ), but diversity index was higher in the Forest-coffee. This is explained by the use of species number and dominance to calculate the Shannon-Wiener diversity index. As a result of the very high dominance index in Orchard-coffee, diversity index decreases (TABLE 1). The forest surrounding coffee trees has favorable edaphoclimatic factors so that the species diversity is at greater balance. Elements such as temperature, luminosity, and humidity provided by this environment influence the biodiversity and adaptation of various insects and animals, directly reflecting in the diversity of social wasps within it (MACHADO et al., 1998; RICHARDS, 1978).

**Table 1** – Richness, diversity, and dominance of social wasps collected in Forest- and Orchard-coffee areas.

Species	Orchard-coffee		Forest-coffee		Total	
	Number of individuals	Frequency	Number of individuals	Frequency	Number of individuals	Frequency
<i>Myschocittarus rotundicollis</i> (Cameron, 1912)	2	1.33%	0	0.00%	2	0.96%
<i>Polistes ferreri</i> Saussure, 1853	3	2.00%	0	0.00%	3	1.44%
<i>Polistes simillimus</i> Zikán, 1951	11	7.33%	4	6.90%	15	7.21%
<i>Polistes versicolor</i> (Olivier, 1791)	101	67.33%	26	44.83%	127	61.06%
<i>Polybia erythrothorax</i> (Richards, 1978)	0	0.00%	1	1.72%	1	0.48%
<i>Polybia ignobilis</i> (Haliday, 1836)	4	2.67%	5	8.62%	9	4.33%
<i>Polybia jurinei</i> Saussure, 1854	8	5.33%	6	10.34%	14	6.73%
<i>Polybia occidentalis</i> (Olivier, 1791)	8	5.33%	2	3.45%	10	4.81%
<i>Polybia punctata</i> du Buysson, 1907	3	2.00%	6	10.34%	9	4.33%
<i>Polybia sericea</i> (Olivier, 1791)	10	6.67%	2	3.45%	12	5.77%

(continue...)

Table 1 – Continuation

Species	Orchard-coffee		Forest-coffee		Total	
	Number of individuals	Frequency	Number of individuals	Frequency	Number of individuals	Frequency
<i>Synoeca cynea</i> (Fabricius, 1775)	0	0.00%	6	10.34%	6	2.88%
Total individuals	150		58		208	
Mean number of individuals per collection	13.63 ± 3.98a		5.27 ± 3.31b			
Species richness (S')	9		9		11	
Mean species per collection	3.72 ± 0.90a		2.45 ± 1.50a			
Shannon-Wiener diversity index (H')	1.262		1.762		1.57	
Berger-Paker dominance index (Dpb)	0.6645		0.4286		0.5805	

\*Lines with different letters differ from each other by the t test at 5% significance

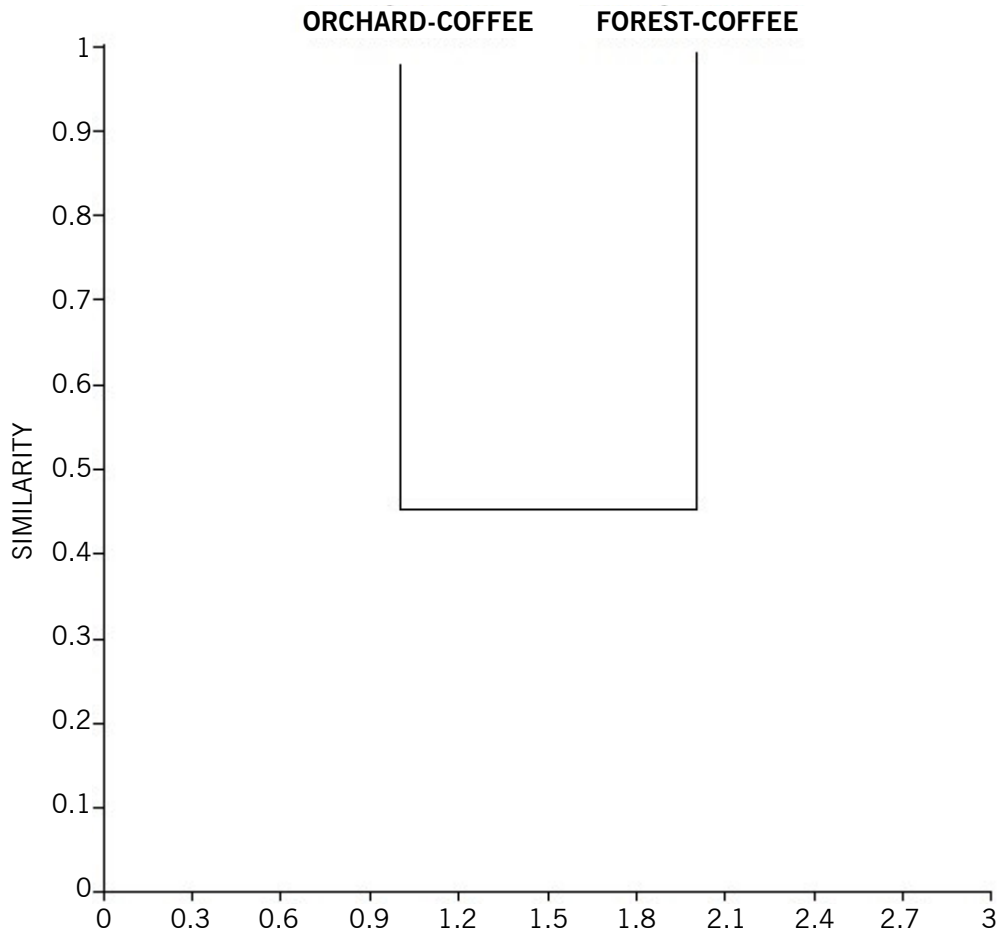
**Source:** Prepared by the authors (2020).

Similarity analysis between the two studied coffee areas showed a Bray-Curtis similarity of 0.45 (FIGURE 3). As Bray-Curtis index range from one to zero, this is a relatively low value. Considering that, the studied areas are different from each other, despite the short distance between them (354.0 m). It also shows that the surrounding vegetation directly influences the diversity of wasps in coffee culture.

We found *Mischocyttarus rotundicollis* (Cameron, 1912) and *P. ferreri* species only in the Orchard-coffee. *P. ferreri* was previously recorded foraging on cabbage culture, which verifies this species interaction with the agricultural environment (JACQUES et al., 2018). *Polybia erythrothorax* Richards, 1978 and *S. cynea* were present in Forest-coffee only. *S. cynea* nests in larger tree trunks (ELISEI et al., 2005), found closer to Forest-coffee. Social wasps may build their nests in one place and forage in others (SANTOS et al., 2009).

Further studies are necessary to better understand the function of different surrounding vegetation on the diversity of social wasps in agricultural areas. However, it is evident that different surroundings of a same culture influence the biodiversity of social wasps within it and may interfere in agricultural pest control.

**Figure 3** – Analysis of similarity (Cluster analysis) between faunas of social wasps collected in Orchard- and Forest-coffee areas, considering species occurrence and abundance in each area.



Source: Prepared by the authors (2020).

## Conclusion

The predominant surrounding vegetation of the studied coffee areas influenced the diversity of social wasp species found, with higher abundance in coffee cultivation near the orchard and higher diversity index in coffee cultivation near the forest. The most abundant species in both areas was *Polistes versicolor*, which is capable of reducing damage caused by coffee pests and has a great potential use in biological control programs.

## Acknowledgments

The authors would like to thank the Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Bambuí for their support in the translation and publication of this article.



## Influência da vegetação de entorno na diversidade de vespas sociais na cultura do café

### Resumo

A cada ano, lavouras de café são tomadas por pragas e doenças que afetam a produtividade e a qualidade final dos grãos. Para tentar contornar esses problemas são utilizados produtos químicos que além de aumentar o custo de produção podem acarretar sérios problemas em longo prazo. O uso do controle biológico de pragas visa diminuir a utilização desses produtos, bem como a preservação do meio ambiente. Vespas sociais são predadoras desses insetos considerados pragas, portanto funcionam como uma alternativa eficaz no controle biológico. As armadilhas atrativas foram instaladas em duas áreas de cultura de café, uma com pomares como vegetação de entorno predominante, nomeado de Café-Pomar; a outra, com um fragmento de mata atlântica como vegetação de entorno predominante, nomeada de Café-Mata. O objetivo foi comparar a diversidade e a abundância de espécies de vespas sociais que visitaram as duas diferentes áreas. A análise de similaridade de Bray-Curtis entre as duas áreas foi de 0,45, valor baixo, mostrando a influência do entorno nas duas áreas. 208 indivíduos foram coletados, sendo 11 espécies e 4 gêneros diferentes, com índice total de diversidade de Shannon-Wiener ( $H'$ ) de 1,591. O Café-Pomar apresentou maior número de indivíduos de vespas sociais, em contrapartida, o Café-Mata apresentou maior índice de diversidade. *Polistes versicolor* foi a espécie encontrada com maior abundância nas duas áreas, espécie essa capaz de reduzir os danos causados por pragas cafeeiras e com grande potencial de ser utilizada em programas de controle biológico.

**Palavras-chave:** Polistinae. Controle Biológico. Mata Atlântica. Pomar.

### References

- AMARAL, D. S.; VENZON, M.; PALLINI, A.; LIMA, P. C.; SOUZA, O. Does Vegetational Diversification Reduce Coffee Leaf Miner *Leucoptera coffeella* (Guerin-ville) (Lepidoptera: Lyonetiidae)? **Neotropical Entomology**, v. 39, n. 4, p. 543-548, 2010.
- BICHARA-FILHO, C. C.; SANTOS, G. M. M.; RESENDE, J. J.; DA CRUZ, J.D.; GOBBI, N.; MACHADO, V.L.L. Foraging behavior of the swarm-founding wasp, *Polybia (Trichothorax) sericea* (Hymenoptera, Vespidae): prey capture and load capacity. **Sociobiology**, v. 53, p. 61–69, 2009.
- CARPENTER, J. M. Biogeographic patterns in the Vespidae (Hymenoptera): two views of Africa and South America. In: GOLDBLATT, P. (org). **Biological relationships between Africa and South America**. New Haven: Yale University, 1993, p. 139-155.
- CARPENTER, J. M.; MARQUES O. M., **Contribuição ao Estudo dos Vespídeos do Brasil. Universidade Federal da Bahia, Departamento de Fitotecnia**. Série Publicações Digitais, v. 2, n. 1, p. 147, 2001.

CASSAL, V. B.; AZEVEDO, F. L.; FERREIRA, P. R.; SILVA, G. D.; SIMAO, R. S. Agrotóxicos: uma revisão de suas consequências para a saúde pública. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental – REGET**, Santa Maria, v. 18, n. 1, p. 437-445, abril, 2014.

DEBACH, P. The necessity for an ecological approach to pest control on citrus in California. **Journal of Economic Entomology**, v. 44, p. 443-7, 1951.

ELISEI, T.; RIBEIRO JUNIOR, C.; GUIMARAES, D. L.; PREZOTO, F. Foraging Activity and Nesting of Swarm-Founding Wasp *Synoecca cyanea* (Hymenoptera: Vespidae, Polistinae). **Sociobiology**, v. 46, n. 2, p. 1-12, 2005.

ELISEI, T.; NUNES, J. V.; RIBEIRO JUNIOR, C.; FERNANDES JUNIOR, A. J.; PREZOTO, F. Uso da vespa social *Polistes versicolor* no controle de desfolhadores de eucalipto. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 45, n. 9, p. 958-964, set. 2010.

FERNANDES, L. G. **Diversidade de inimigos naturais de pragas do cafeeiro em diferentes sistemas de cultivo**. 2013. 200p. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Lavras, Lavras.

FREITAS, J. L.; PIRES, E. P.; OLIVEIRA, T. T. C.; SANTOS, N. L.; SOUZA, M. M. Vespas sociais (Hymenoptera: Vespidae) em lavouras de *Coffea arabica* L. (Rubiaceae) no Sul de Minas Gerais. **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre, v. 7, n. 3, p. 67-77, set. 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.18406/2316-1817v7n32015684>

HAMMER, O.; HARPER, D. A. T.; RYAN, P. D. Past: paleontological statistics software package for education and data analysis. **Palaeontologica Electronica**, v. 4, p. 1–9. 2005.

HERMES, M. G.; SOMAVILLA, A.; ANDENA, S. R. Vespidae in **Catálogo Taxonômico da Fauna do Brasil**. PNUD. Disponível em: <<http://fauna.jbrj.gov.br/fauna/faunadobrasil/4019>>. Acesso em: 07 nov. 2019.

JACQUES, G. C.; CASTRO, A. A.; SOUZA, G. K.; SILVA-FILHO, R.; SOUZA, M. M.; ZANUNCIO, J. C. Diversity of social wasps in the Campus of the “Universidade Federal de Viçosa” in Viçosa, Minas Gerais State, Brazil. **Sociobiology**, v. 59, n. 3, p. 1053-1062, 2012.

JACQUES, G. C.; SOUZA, M. M.; COELHO, H. J.; VICENTE, L. O.; SILVEIRA, L. C. P. Diversity of Social Wasps (Hymenoptera: Vespidae: Polistinae) in an Agricultural Environment in Bambuí, Minas Gerais, Brazil. **Sociobiology**, v. 62, n. 3, p. 339-445, set. 2015.

JACQUES, G. C.; PIKART, T. G.; SANTOS, V. S.; VICENTE, L. O.; SILVEIRA, C. P. S. Niche overlap and daily activity pattern of social wasps (Vespidae: Polistinae) in kale crops. **Sociobiology**, v. 65, n. 2, p. 312-319, jun. 2018.

MACHADO, A. B. M.; FONSECA, G. A. B.; MACHADO, R. B.; AGUIAR, L. M. S.; LINS, L. V. **Livro Vermelho das Espécies Ameaçadas de Extinção da Fauna de Minas Gerais**. Ministério do Meio Ambiente, v. 2, p. 605, 1998.

PARRA, J. R. P.; GONÇALVES, W.; GRAVENA, S.; MARCONATO, A. R. Parasitos e predadores do bicho-mineiro do cafeeiro *Perileuoptera coffeella* (Guérin-Ménéville, 1842) em São Paulo. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 4, p. 138-143, ago. 1977.

PERIOTO, N. W.; LARA, R. I. R.; SANTOS, E. F. Estudo Revela Presença de Novos Inimigos Naturais de Pragas Da Cafeicultura-II. Vespas Predadoras. **Revista Pesquisa e Tecnologia**, v. 8, n. 2, dez. 2011.

PREZOTO, F.; PREZOTO, H. H. S.; MACHADO V. L.; ZANUNCIO, J. C. Prey captured and used in *Polistes versicolor* (Olivier) (Hymenoptera: Vespidae) nourishment. **Neotropical Entomology**, v. 35, n. 5, p. 707-709, set./out. 2006.

REIS, P. R.; SOUZA, J. C.; VENZON, M. Manejo ecológico das principais pragas do cafeeiro. **Informe Agropecuário**, v. 214, n. 23, p. 83-99, 2002.

RICHARDS, O. W. **The social wasps of the Americas excluding the Vespinae**. p. 580, 1978.

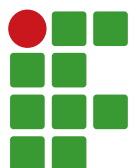
SANTOS, G. M. M.; CRUZ, J. D.; MARQUES, O. M.; GOBBI, N. Diversidade de Vespas Sociais (Hymenoptera: Vespidae) em Áreas de Cerrado na Bahia. **Neotropical Entomology**, v. 38, n. 3, p. 317-320. mai./jun. 2009.

SOUZA, M. M.; PREZOTO, F. Diversity of social wasps (Hymenoptera, Vespidae) in Semideciduous Forest and Cerrado (Savanna) regions in Brazil. **Sociobiology**, v. 47, n. 1, p.135-147, jan. 2006.

TOMAZELLA, V. B.; JACQUES, G. C.; LIRA, A. C.; SILVEIRA, L. C. P. Visitation of Social Wasps in Arabica Coffee Crop (*Coffea arabica* L.) Intercropped with Different Tree Species. **Sociobiology**, v. 65, n. 2, p. 299-301. 2018.

**Received:** November 14, 2019

**Accepted:** March 23, 2020



# Spatial and temporal analysis of the collapse of the tailings dam in Brumadinho, Brazil

Jéssica de Cássia Leopoldino<sup>1</sup>

Camila Souza dos Anjos<sup>2</sup>

Débora Paula Simões<sup>3</sup>

Luiz Flávio Reis Fernandes<sup>4</sup>

## Abstract

Mining is an important economic activity in the world. Mining activities are known for their high environmental impacts. Considering the high magnitude of some operations and amounts of tailings produced, the mining activity has represented a risk for several regions and populations, which can be affected by accidents and inefficient disposal and monitoring systems. Remote sensing has been frequently used to map areas that are large or difficult to access; it enables the obtaining of information on objects or phenomena on the Earth's surface without requiring physical contact, making it an important source of data collection that can be used for several purposes. Images used in remote sensing provide a synoptic and multitemporal view of large areas and are an alternative for environmental studies. The objective of this work was to evaluate the extension of the area affected by the collapse of the tailings dam of the Vale S.A. company in the Córrego do Feijão stream mine, in the municipality of Brumadinho, state of Minas Gerais, Brazil, which occurred on January 25, 2019, causing an environmental impact that will last for many years. The dimension of this environmental impact was analyzed using imagery of the Planet's satellite constellation with spatial resolution of 3.0 meters. The methodology used was based on digital image processing, using the *PCI Geomatics* and *ENVI 5.3* software, which made possible the quantification of the affected area. Two different methods were used and the results were compared to those provided by the State Secretariat for Environment and Sustainable Development of Minas Gerais, Brazil. The results showed an affected area of 2.964096 km<sup>2</sup>, from the Brumadinho dam to the Paraopeba River.

**Keywords:** Remote Sensing, Ambiental Impact, Digital Image Processing.

## Introduction

In the last 50 years, the number of people exposed to disaster risks has been increasing in the world faster than their capacity to decrease such vulnerability, resulting in intense and extensive (time and space) environmental impacts (FREITAS et al., 2016).

The Resolution no. 01/86 of January 23, 1986 (BRASIL, 1986) established by the Brazilian National Council for Environment (CONAMA), in its article 1, defines environmental impact as any changes in physical, chemical, or biological properties of an environment, caused by any

1 Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais (IFSULDEMINAS), *Campus* Inconfidentes. Discente. [jdecassialeopoldino@gmail.com](mailto:jdecassialeopoldino@gmail.com). Praça Tiradentes, 416, Inconfidentes/MG, 37576-000.

2 IFSULDEMINAS, *Campus* Inconfidentes. Professora EBTT. [camila.lacerda@ifsuldeminas.edu.br](mailto:camila.lacerda@ifsuldeminas.edu.br).

3 IFSULDEMINAS, *Campus* Inconfidentes. Professora EBTT. [debora.simoes@ifsuldeminas.edu.br](mailto:debora.simoes@ifsuldeminas.edu.br).

4 IFSULDEMINAS, *Campus* Inconfidentes. Professor EBTT. [luiz.flavio@ifsuldeminas.edu.br](mailto:luiz.flavio@ifsuldeminas.edu.br).

form of matter or energy resulted from human activities that, direct or indirectly, affect the health, safety, or well-being of a population; social and economic activities; and biota and quality of environmental resources.

Mining is an important economic activity in Brazil that causes high environmental impacts. Considering the high magnitude of some operations and amounts of tailings produced, the mining activity has been a risk for several regions and populations, that can be affected by accidents and inefficient disposal and monitoring systems (BNDES, 2017).

The collapse of the tailings dam in the Córrego do Feijão stream mine, in the municipality of Brumadinho, state of Minas Gerais (MG), Brazil, occurred on January 25, 2019 was one of the most significant mining disasters in Brazil, which resulted in 270 deaths and discharged approximately 11.7 million cubic meters of mining tailings in the environment. The resulting changes denoted serious environmental and socioeconomic impacts due to the volume of accumulated tailings and their toxic potential (PEREIRA et al., 2019).

Considering the magnitude of the disaster and the difficult access to the affected areas, geotechnologies, such as aerial or orbital image analysis, were important to study the spatial dimension of such disaster.

According to Florenzano (2007), remote sensing can be defined as a technology that enables the obtaining of images and other types of data of the Earth's surface by capturing and recording the energy reflected or emitted by it. Remote sensing has been a technique used in environmental studies, since it enables the analysis of large areas without requiring physical contact. This is possible because remote sensing uses satellite imagery to measure the electromagnetic radiation reflected or emitted by targets on the Earth's surface and processes this information in terms that can be interpreted.

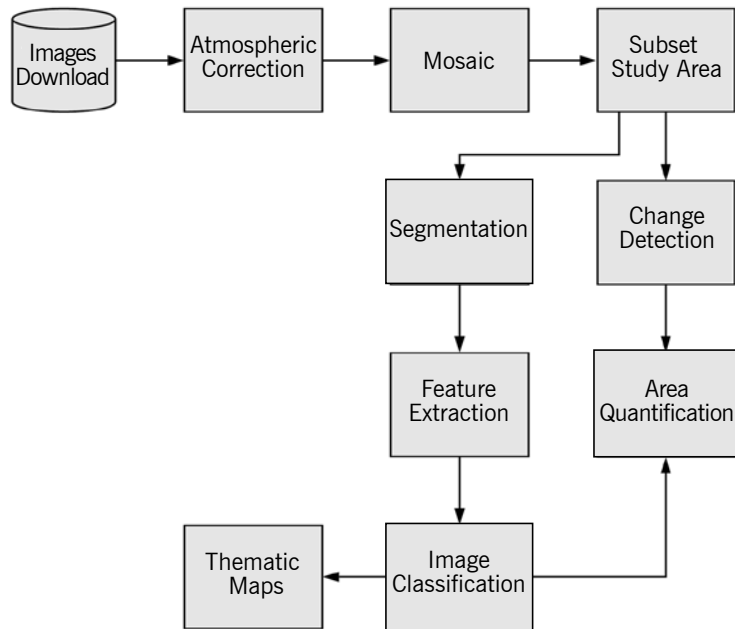
In this context, the number of studies using satellite imagery combined with technical Digital Image Processing (DIP) has been increased, showing the importance of this technique for the analysis of environmental disasters. Silva et al. (2018) conducted spatial and temporal analysis of the environmental disaster occurred in Mariana/MG, Brazil, using DIP.

The objective of this work was to evaluate the area affected by the collapse of the tailings dam in the municipality of Brumadinho/MG, Brazil, through spatial and temporal analysis, using satellite imagery. Such analysis was conducted to quantify the affected area through the change detection by comparing images of the area acquired before and after the occurrence of that environmental disaster.

## Material and methods

The spatial and temporal analysis was conducted using imagery from the Planet's satellite constellation, taken in two different times, orthorectified with spatial resolution of 3.0 meters each. The *PCI Geomatics 2018* and *ENVI 5.3* software were used for the digital image processing and the *QGIS 2.14.8* software was used to develop thematic maps and quantify the affected area. The chosen methodology followed the steps presented in Figure 1.

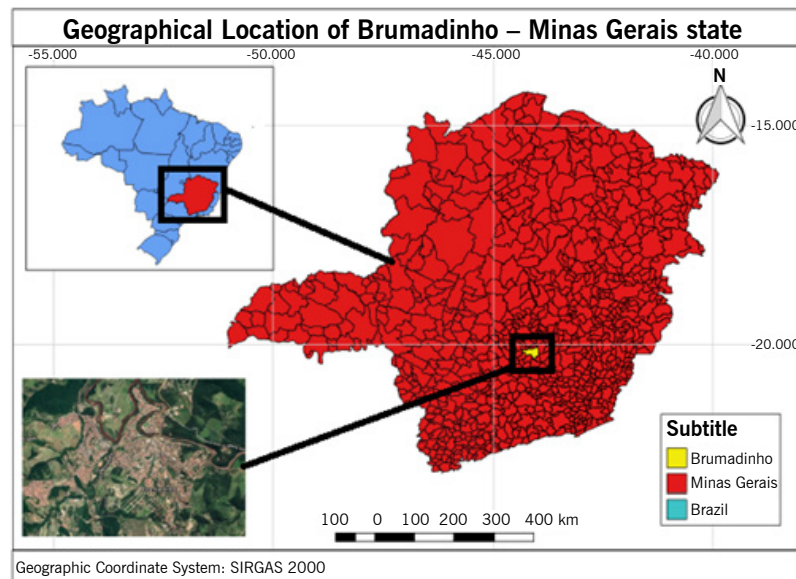
**Figure 1** – Steps of the methodology.



**Source:** Elaborated by the authors (2019).

The first step consisted of acquisition of satellite images of the municipality of Brumadinho/MG, Brazil. The geographical location of the municipality is shown in Figure 2.

**Figure 2** – Geographical location of the municipality of Brumadinho/MG, Brazil.



**Source:** Elaborated by the authors (2019).

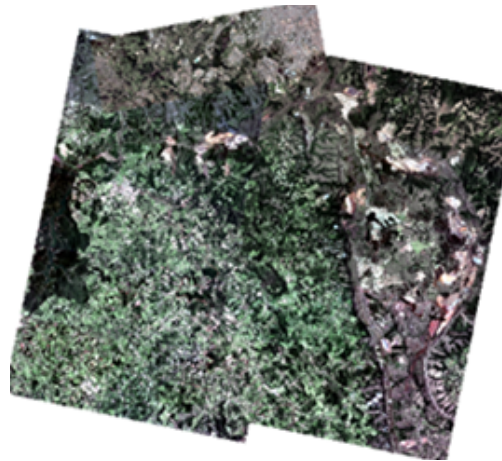
The Planet Scope Analytic Basic Scene product consists of multispectral data from the Planet’s satellite constellation composed of images from 4 spectral bands (blue, green, red, and near infrared). The images used were from different times: before the disaster (January 22, 2019) and after the disaster (February 01, 2019), at the closest time possible to its occurrence, which was on January 25, 2019.



The second step consisted of atmospheric correction of the images that compose each scene. The images were processed using the ATCOR model in the *PCI Geomatics 2008* software. Original images were available in radiometric radiance form; they were transformed into surface reflectance after the atmospheric correction procedure. Atmospheric correction was needed to reduce the atmosphere effect on the recorded values of each image. The atmosphere interacts with electromagnetic radiation, causing significant changes in the radiation flow from the target. The main evidences of these effects on the images are the decrease in surface brightness in specific spectral regions and the presence of mist, with loss of sharpness, in regions with lower wavelengths (LATORRE et al., 2002).

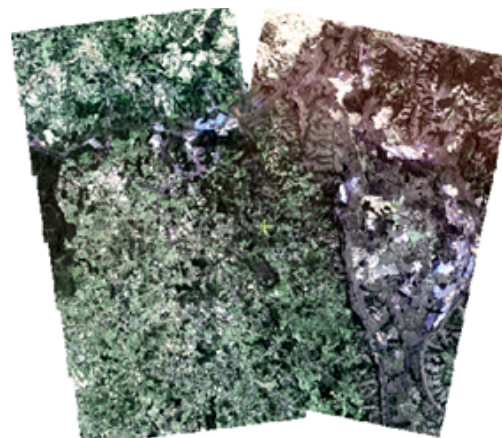
The third step was the production of mosaics referring to each time, which were composed of several images that were put together forming a mosaic, so it was possible to evaluate the area of interest. The mosaics of each time were generated using 3R2G1B color composition, as shown in Figures 3 and 04. They were generated with no normalizations or changes in the pixel values of the images to maintain the integrity of the reflectance recorded by the satellite sensor.

**Figure 3** – Mosaic from images referring to January 22, 2019, before the occurrence of the collapse of the tailings dam in Brumadinho/MG, Brazil.



**Source:** Elaborated by the authors (2019).

**Figure 4** – Mosaic of images referring to February 01, 2019, after the occurrence of the collapse of the tailings dam in Brumadinho/MG, Brazil.



**Source:** Elaborated by the authors (2019).

The fourth step consisted of performing cutouts on the mosaics referring to the affected area by the collapse of the dam in each time.

The fifth step was the detection of changes; According to Singh (1989), the change detection in remote sensing studies consists in identifying alterations in the Earth's surface through satellite images of a same area collected at different times. These changes were detected using the *PCI Geomatics* and *ENVI 5.3* software with the method of image subtraction pixel by pixel. This method subtracts an image from another, highlighting the changes in the land surface cover.

The affected area was quantified using the *QGIS 2.14.8* software, considering the dam area and all affected areas from the dam to the Paraopeba River, disregarding the Paraopeba River, since the images obtained do not include all its extension.

The sixth step was the classification of images, attributing meaning to the pixels by considering their numeric properties. According to Novo (2010), classification techniques are used as a last analysis to attribute a label to each pixel according to its spectral and spatial properties. The supervised classification technique Support Vector Machine (SVM) was used; according to Campbell (1996), can be simply defined as the process in which samples of known identity are used to classify pixels of unknown identity.

Six land use and occupation categories were defined for the supervised classification of the following images: trees, ground vegetation, mining tailings, bare soil, water, and urban area. All identified classes in the scene were inserted in the classification key.

The supervised classification process was carried out in the *PCI Geomatics* software through the following phases:

- image segmentation: according to Vasconcelos and Novo (2004), it is needed to group adjacent and similar pixels, generating homogeneous regions.
- feature extraction: data were extract from the original data, and then attributes, in spectral and geometric forms, were generated.
- determination of classes of interest: trees, ground vegetation, mining tailings, bare soil, water, and urban area.
- collection of representative samples of each class.
- classification of images using the classification algorithm SVM of the *PCI Geomatics* software.
- evaluation of the quality of the classifications in the *PCI Geomatics* software, using new validation samples that represent each class. The Kappa index method was chosen to perform the evaluation.

According to Congalton (1991), the Kappa index is satisfactory to evaluate the precision of thematic classifications; it considers all confusion matrix in its calculation, including elements outside the main diagonal, which represent disagreements in the classification; it is different than the global accuracy, which uses only diagonal elements (actual agreement).

Chart 1 presents the classification performance levels according to the Kappa indexes obtained.



**Chart 1** – Kappa index and corresponding performances of classification.

Kappa index	Performance
$< 0$	Very Bad
$0 < k \leq 0,2$	Bad
$0,2 < k \leq 0,4$	Reasonable
$0,4 < k \leq 0,6$	Good
$0,6 < k \leq 0,8$	Very Good
$0,8 < k \leq 1,0$	Excellent

**Source:** Adapted from Landis and Koch (1977).

## Results and discussion

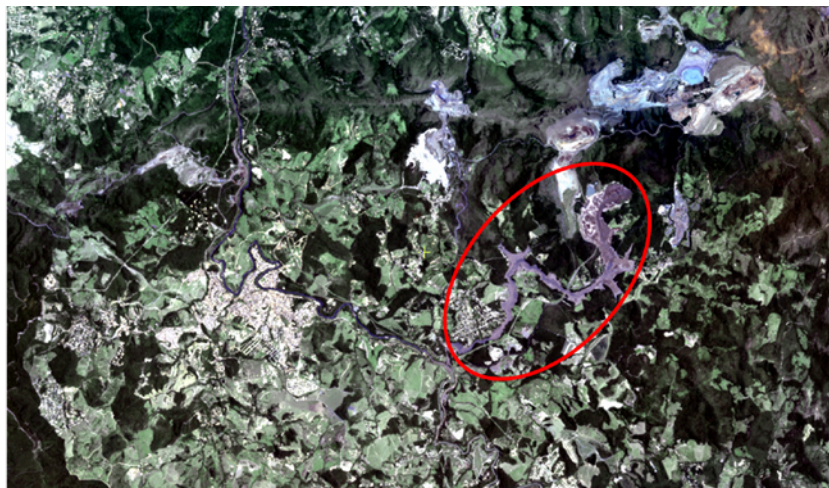
The cutouts performed on the mosaics resulted in images for each time, as shown in Figures 5 and 6.

**Figure 5** – Cutouts performed on the mosaic composed with images of the study area acquired on January 22, 2019.



**Source:** Elaborated by the authors.

**Figure 06** – Cutouts performed on the mosaic composed with images of the study area acquired on February 1st, 2019.

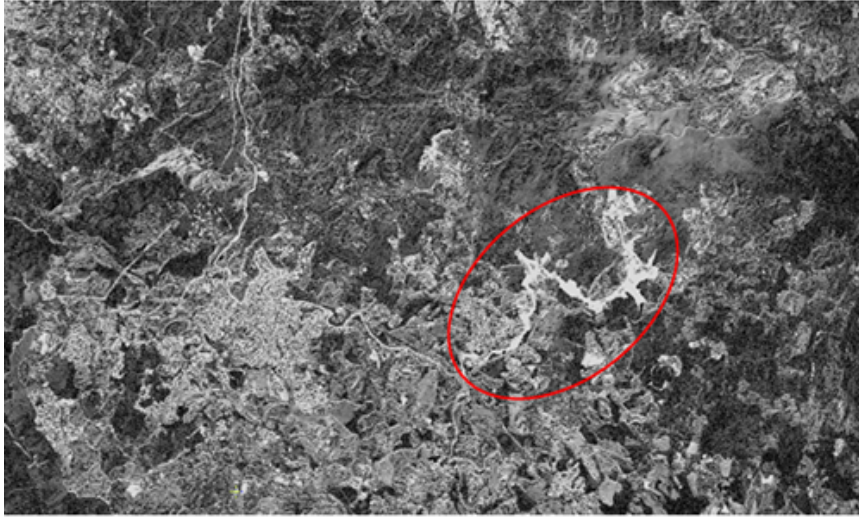


**Source:** Elaborated by the authors.

The cutouts showed the extension of the area affected after the collapse of the dam, identified by the area marked in red in Figure 6.

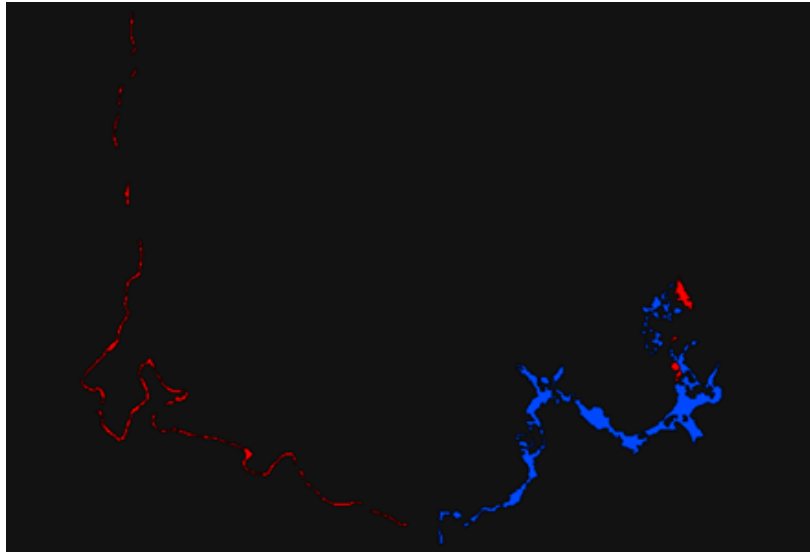
The results of the changes detected by the procedures carried out using the *PCI Geomatics* and *ENVI 5.3* software are shown in Figures 7 and 8:

**Figure 7** – Detected changes according to the *PCI Geomatics* software.



**Source:** Elaborated by the authors (2019).

**Figure 8** – Detected changes according to the *ENVI 5.3* software.



**Source:** Elaborated by the authors (2019).

The area highlighted in white in Figure 7, represents the greatest changes detected by the processing done, and denotes the presence of tailings. The area highlighted in red and blue, in Figure 8 also denotes the presence of tailings. The different colors are explained by differences in land cover before the collapse of the dam: the area represented in red was covered with clear water, and the area in blue was covered with vegetation, constructions, and soil.

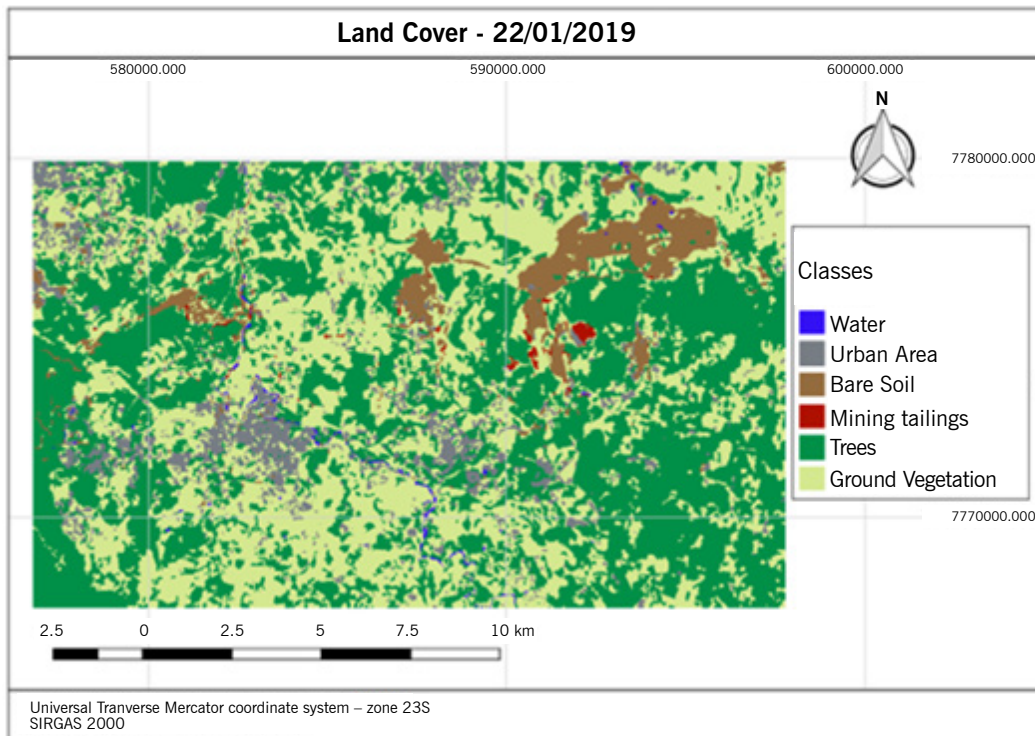
Therefore, Figures 7 and 8 show the changes occurred in the study area after the collapse of the dam. The change detection using the software *ENVI 5.3* enabled the use of thresholds to isolate the affected area, removing small changes from the process to quantify the affected area.

The affected area quantified by the method of change detection was 1.64792 km<sup>2</sup> hectares, from the dam to the Paraopeba River.

The method of classification of images was used to develop land cover maps for both times, and for a new quantification of the affected area.

The maps developed by the classification of images, using the *PCI Geomatics* software, for each time is shown in Figures 9 and 10.

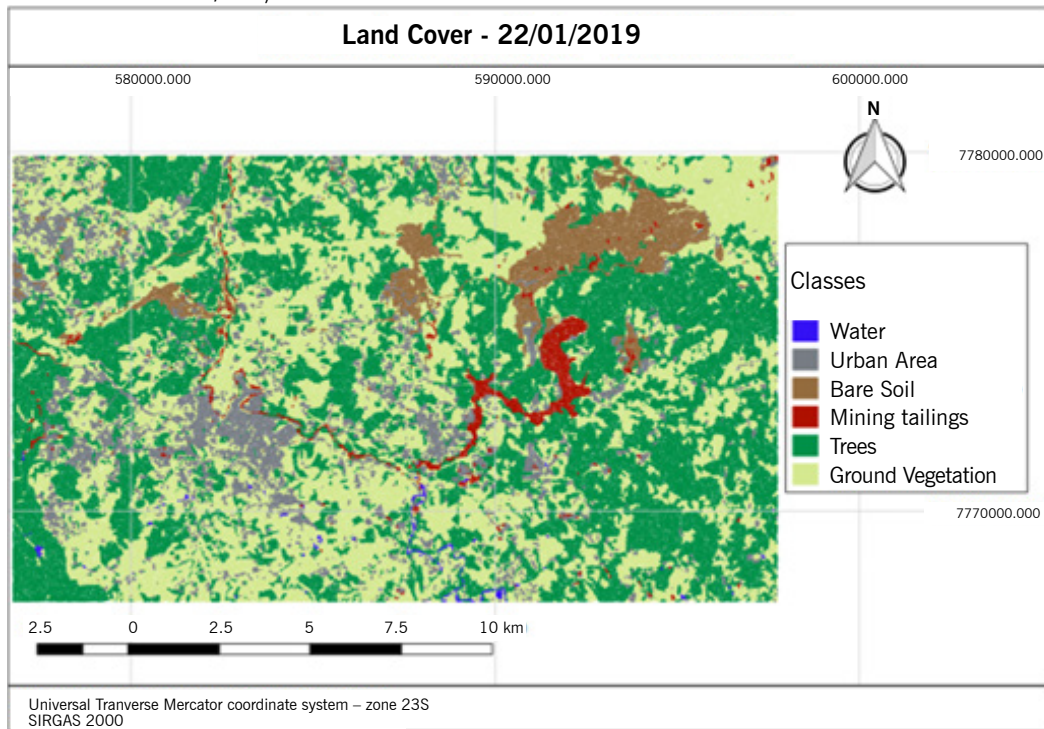
**Figure 9** – Land cover map developed by classification of images for the study area before the collapse of the tailings dam in Brumadinho/MG, Brazil.



**Source:** Elaborated by the authors (2019).



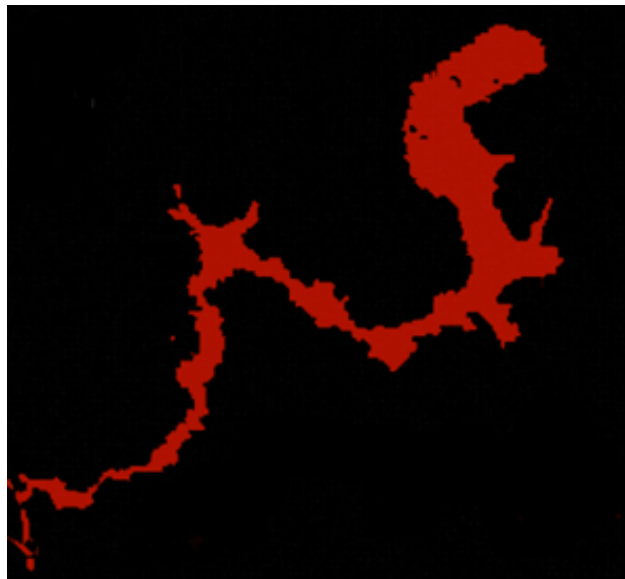
**Figure 10** – Land cover map developed by classification of images for the study area after the collapse of the tailings dam in Brumadinho/MG, Brazil.



**Source:** Elaborated by the authors (2019).

The classification of images using data acquired after the disaster also enabled the quantification of the area affected by the tailings, from the dam to the Paraopeba River. Figure 11 shows the area quantified by the classification of images. The other classes were represented in black only to visually isolate the class Tailings.

**Figure 11** – Area affected by the mining tailings, quantified by classification of images.



**Source:** Elaborated by the authors (2019).

The area quantified by the classification of images (Figure 11) was 2.964096 km<sup>2</sup>, from the dam to the Paraopeba River. The difference between areas found by the classification of images and change detection was 1.31618 km<sup>2</sup>. The quantification of the area made by the State Secretariat for Environment and Sustainable Development of Minas Gerais, Brazil (SEMAD) – whose methodology was not disclosed – was used to assess the method that presented more coherent results.

The classification of images of the present study showed similar values to those of the SEMAD's study, showing a total of 2.90 km<sup>2</sup>, considering the area of the dam and all area affected from the dam to the Paraopeba River. The area quantified by the classification of images was more similar to that found by the SEMAD than to that estimated in the step of detection of changes, with a difference of 0,0.4096 km<sup>2</sup> above those estimated by the SEMAD.

The values obtained by the change detection present divergent results from those published by the SEMAD. This occurred because the change detection in the ENVI software considers only the main changes.

The quality of the classification of images was assessed in the PCI Geomatics software by analysis of accuracy and calculation of the Kappa index for the two classifications.

Tables 2 and 3 show the distribution of accuracy and Kappa index for each class defined for the images in each time.

**Table 2** – Accuracy and Kappa index for each class of land use and occupation defined from satellite images acquired on January 22, 2019, before the collapse of the tailings dam in Brumadinho/MG, Brazil.

Class	Producer accuracy (%)	User accuracy (%)	Kappa index
Bare soil	100.00	90.91	0.89
Urban area	57.14	100.00	1.00
Ground vegetation	87.71	70.59	0.63
Trees	78.95	88.24	0.84
Mining tailings	94.44	89.47	0.86
Water	100.00	100.00	1.00

Source: Elaborated by the authors (2019).

**Table 3** – Accuracy and Kappa index for each class of land use and occupation defined from satellite images acquired on February 01, 2019, after the collapse of the tailings dam in Brumadinho/MG, Brazil.

Class	Producer accuracy (%)	User accuracy (%)	Kappa index
Bare soil	100.00	81.82	0.78
Urban area	90.00	100.00	1.00
Ground vegetation	76.92	100.00	1.00
Trees	100.00	92.31	0.90
Mining Tailings	100.00	87.50	0.86
Water	100.00	100.00	1.00

Source: Elaborated by the authors (2019).

The Kappa indexes found for each class showed that the class Ground Vegetation presented the lowest index in the images acquired on January 22, 2019, with a Kappa index of 0.63, which is classified as Very Good; and the class Bare soil was the one that presented the lowest index in the images acquired on February, 01, 2019, , with a Kappa index of 0.78, also considered Very Good, according to Landis and Koch (1977).

Tables 4 and 5 show the total accuracy values and overall Kappa index for the images acquired, respectively, on January 22 and on February 01, 2019.

**Table 4** – Accuracy of the classification referring to satellite images acquired on January 22, 2019.

General statistics	Values
Global accuracy	86.11%
Kappa index	0.83

**Source:** Elaborated by the authors(2019).

**Table 5** – Accuracy of the classification referring to satellite images acquired on February 1st, 2019.

General statistics	Values
Global accuracy	92.59%
Kappa index	0.91

**Source:** Elaborated by the authors (2019).

The validation of results showed that both classifications had Excellent performance, according to Landis and Koch (1977), since they showed Kappa indexes higher than 0.8.

## Conclusion

The digital processing of images made it possible to evaluate the extension of the area affected by the collapse of the tailings dam of the Vale S.A. company, in the Córrego do Feijão stream mine, municipality of Brumadinho, state of Minas Gerais, Brazil, which occurred on January 25, 2019, showing the high significance of the changes in land cover, from the dam to the Paraopeba River.

The area affected by the disaster, from the dam to the Paraopeba River, was quantified by change detection and classification of images, and; the classification of images had higher precision than previous studies. The area quantified by the change detection showed no good precision, which is explained by the inclusion of parameters by the algorithm of the *ENVI 5.3* software, which isolates the area affected and underestimated it by considering only the most significant changes.

The supervised classification of images made it possible to categorize the land use and occupation into six classes: trees, ground vegetation, mining tailings, bare soil, water, and urban area. The classifications resulting from the global accuracy and Kappa index were confirmed, showing the excellent performance of the classifier. The classification of images also made it possible to prove and quantify the large devastation caused by the collapse of the dam.

Further studies are needed to quantify the affected area from the dam to the Paraopeba River, considering the total area affected by the disaster.

## Acknowledgments

To the Federal Institute of Education, Science and Technology of South of Minas Gerais – IFSULDEMINAS, for the financial support granted.

## Análise espaço-temporal do rompimento da barragem de rejeitos no município de Brumadinho-MG

### Resumo

A atividade mineradora consiste em uma das mais importantes atividades econômicas tanto quanto no mundo. As atividades de mineração são reconhecidamente de elevado impacto ambiental. Devido ao tamanho de algumas operações, a quantidade de carga movimentada e os rejeitos gerados, a mineração tem representado riscos para diversas regiões e populações, eventualmente afetadas por acidentes e mecanismos ineficientes de deposição e monitoramento. O Sensoriamento Remoto tem sido cada vez mais utilizado para mapeamento de grandes áreas ou áreas de difícil acesso, por meio dele, é possível obter informações sobre objetos ou fenômenos na superfície da Terra sem que haja contato físico com eles, constituindo-se em uma importante fonte de dados que pode ser utilizada para as mais diversas finalidades. As imagens utilizadas em Sensoriamento Remoto proporcionam uma visão sinóptica e multitemporal de grandes áreas da superfície terrestre, sendo uma alternativa viável em estudos ambientais. O presente trabalho tem como objetivo avaliar a extensão da área afetada pelo rompimento da barragem de rejeitos da companhia Vale na mina do Córrego do Feijão, no município de Brumadinho - MG, ocorrido no dia 25 de janeiro de 2019, que causou um impacto ambiental que será sentido por anos. Para analisar a dimensão do impacto ambiental, foram utilizadas imagens de satélite da constelação Planet com resolução espacial de 3,0 metros. A metodologia utilizada foi baseada no processamento digital de imagens utilizando o *software* PCI Geomatics e o *software* ENVI 5.3, com os quais foi possível quantificar a área afetada. Dois diferentes métodos foram utilizados e os valores obtidos foram comparados com os valores divulgados pela Secretaria de Estado de Meio-Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Minas Gerais. Como resultado obteve-se uma área de 2,964096 m<sup>2</sup>, desde a barragem até o rio Paraopeba.

**Palavras-chave:** Sensoriamento Remoto, Impacto Ambiental, Processamento Digital de Imagens.

### References

BNDES. **Desafios da mineração: desenvolvimento e inovação para redução dos impactos ambientais e sociais.** Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/conhecimento/noticias/noticia/inovacao-tecnologia-mineracao-metais>. Acesso em: 25 de nov.2019.

BRASIL. Decreto nº 88.351 de 23, de Janeiro de 1986. **Resolução CONAMA.** In: Diário Oficial da União. Brasília, 17 de jan. de 1986.

CAMPBELL, J. B. **Introduction to remote sensing.** New York: Ed. The Guilford Press, 1996. 622 p.

CONGALTON, R. G. **Uma revisão da avaliação da precisão das classificações de dados detectados remotamente.** *Sensoriamento remoto do ambiente*, 1991, v. 37, n.1, p.35-46.

DA SILVA, G. F, DE CARVALHO, M. V.A., CRUZ, C. B. M. Análise espaço-temporal do desastre ambiental em Mariana-MG a partir das geotecnologias. **Revista Continentes**, n. 13, p. 49-67, 2018.

FIGUEIREDO, G. C.; VIEIRA, C. A. O. Estudo do comportamento dos índices de Exatidão Global, Kappa e Tau, comumente usados para avaliar a classificação de imagens do sensoriamento remoto. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, v. 13, p. 5755-5762, 2007.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em Sensoriamento Remoto**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

FREITAS, C. M., SILVA, M. A., MENEZES, F. C. O desastre na barragem de mineração da Samarco: fratura exposta dos limites do Brasil na redução de risco de desastres. **Ciência e Cultura**, v. 68, n. 3, p. 25-30, 2016.

LANDIS, J. R., KOCH, G. G. An application of hierarchical kappa-type statistics in the assessment of majority agreement among multiple observers. **Biometrics**, p. 363-374, 1977.

LATORRE JÚNIOR, M. O. A. C., CARVALHO, A. P. F., SHIMABUKURO, Y. E., Correção atmosférica: conceitos e fundamentos. **Revista Espaço e Geografia**, v. 5, n. 1, 2010.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto, Princípios e Aplicações**. São Paulo: Edgard Blücher, 2010.

PEREIRA, L. F., CRUZ, B. G., GUIMARÃES, R. M. F. Impactos do rompimento da barragem de rejeitos de Brumadinho, Brasil: uma análise baseada nas mudanças de cobertura da terra. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 4, n. 2, p. 122-129, 2019.

SEMAD. **Nota de esclarecimento 7 – Desastre barragem B1**. Disponível em: <http://www.meioambiente.mg.gov.br/noticias/3745-nota-de-esclarecimento-7-desastre-barragem-b1>. Acesso em: 23 de nov. 2019.

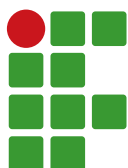
SINGH, A. (1989). Revise as técnicas de detecção de alterações digitais do artigo usando dados detectados remotamente. **Revista internacional de sensoriamento remoto**, v. 10, p.989-1003, 1989.

VASCONCELOS, C. H., NOVO, E. M. L. M. Mapeamento do uso e cobertura da terra a partir da segmentação e classificação de imagens fração solo, sombra e vegetação derivadas do modelo linear de mistura aplicado a dados do sensor TM/Landsat5, na região do reservatório de Tucuruí PA. **Acta Amazônica**, v. 34, n. 3, p. 487-493, 2004.

**Received:** September 24, 2019

**Accepted:** March 23, 2020





## Modeling the amount of mineralized carbon from swine manure and wheat straw

Gustavo Sérgio de Paula<sup>1</sup>

Edilson Marcelino Silva<sup>2</sup>

Ariana Campos Frühauf<sup>3</sup>

Édipo Menezes da Silva<sup>4</sup>

Joel Augusto Muniz<sup>5</sup>

Tales Jesus Fernandes<sup>6</sup>

### Abstract

A method capable of reducing the environmental damage caused by swine manure and the soil enrichment with nutrients is based on the use of these residues together with the crops straw in soils for agricultural production. Through the use of carbon mineralization curves, it is possible to determine the best intervals for the use of organic matter from manure to better adapt the use of soil and crops. Dynamics of carbon present in manure can help in the selection of the best management. The objective of this study was to compare the fit of three nonlinear models that describe the carbon mineralization in soil over time, in addition to assessing the carbon stock of wheat straw alone and combined with swine manure. The experiment was carried out in a randomized block design, with four replications and eight treatments. The following treatments were tested: T1 – soil (S), T2 – soil + straw on the surface (SSUR), T3 – soil + incorporated straw (INCS), T4 – soil + manure on the surface (MSUR), T5 – soil + incorporated manure (INCM), T6 – soil + incorporated manure + straw on the surface (INCMSSUR), T7 – soil + incorporated manure + incorporated straw (INCMINCS), T8 – soil + straw on the surface + manure on the surface (SSURMSUR). Soil samples were incubated for 95 days, and ten observations were made throughout time. Carbon mineralization was described using nonlinear models Cabrera, Stanford and Smith and Juma, considering the autoregressive error structure AR (1), when necessary. The comparison of fit of models was made using the Akaike Information Criterion (AIC). The description of carbon mineralization of wheat straw and swine manure carried out by nonlinear models was satisfactory. The Cabrera model was the most appropriate to describe all treatments. The Stanford and Smith model, most used in the literature to describe the mineralization of organic waste in soil, did not achieve better results in relation to the other nonlinear models for the treatments under study. In general, the treatments with straw on the surface resulted in a larger carbon stock in the soil, and with the addition of manure to the wheat

1 Universidade Federal de Lavras (UFLA). Graduando em Agronomia. [gustavo.paula1@agronomia.ufla.br](mailto:gustavo.paula1@agronomia.ufla.br). Departamento de Agricultura, Campus Universitário da UFLA, Lavras, Minas Gerais, 37200-000.

2 UFLA. Doutor em Estatística e Experimentação Agropecuária. [edilsonmg3@hotmail.com](mailto:edilsonmg3@hotmail.com).

3 UFLA. Doutoranda em Estatística e Experimentação Agropecuária. [arianafruhauf@gmail.com](mailto:arianafruhauf@gmail.com).

4 UFLA. Doutorando em Estatística e Experimentação Agropecuária. [ediposvm01@gmail.com](mailto:ediposvm01@gmail.com).

5 UFLA. Professor Titular. [joamuniz@ufla.br](mailto:joamuniz@ufla.br).

6 UFLA. Professor Titular. [tales.jfernandes@ufla.br](mailto:tales.jfernandes@ufla.br).

straw, the carbon stock was lower, so it is interesting for producers to evaluate, according to their production targets, which is the best strategy to be adopted for the use of waste.

**Keywords:** Organic waste. Stanford and Smith model. Cabrera model. Juma model.

## Introduction

Pig farming is an important agricultural activity that contributes significantly to the Brazilian economy, generating employment and income for producers and providing meat for domestic supply and for export. The participation of pig farming in agribusiness is relevant, considering that Brazil is the 4th largest pig producer in the world (EMBRAPA, 2018). In 2019, Brazilian pig production was expected to exceed 4 million tons, with exports of approximately 700 thousand tons (CONAB, 2019). Due to the high demand for pork, new farmers have appeared in different regions of Brazil. However, not all of them use the proper management for the disposal of residues generated by the animals, and as a consequence these residues are often the cause of river pollution. Several problems may arise from contamination of water courses. The high load of nutrients in water bodies, for example, can lead to eutrophication, mainly by the P and N present in the chemical composition of the material (CADONÁ, 2017). However, due to these problems, means were developed for the correct use of residues generated by pigs, representing an alternative to take advantage of the nutritional quality of liquid manure, mainly N, and use it as an organic fertilizer in agriculture. A practice that is becoming very common in Southern Brazil is the use of organic residues on the straw of winter crops, such as wheat, in no-till system for the production of corn and beans (LUZ, 2007).

No-till is a production system that brings various benefits to agriculture, providing several improvements in crops planting, in which straw has important functions, such as to protect the soil surface against direct action of the sun, increase soil organic matter content and reduce the impact of raindrops. For these reasons, it is important to conduct studies related to the decomposition of straw and liquid waste to seek improvements in the management of the system, since the speed of straw decomposition is important regarding whether the soil is bare or covered.

There is a colossal and varied number of microorganisms in soil, which are benefited from the input of organic matter through manure and straw, so that both carbon mineralization and immobilization can occur in soil, and this can vary depending on the relationship of several aspects of this material, such as: pH, chemical composition, C:N ratio, quantity, quality and incorporation or not of the added material. Nevertheless, decomposition also depends on several other factors present around the material to be decomposed, such as: the types of microorganisms in the area, the type of soil, the vegetation, that is, the entire soil ecosystem influences directly or indirectly on the decomposition of the material (MOREIRA et al., 2013).

The material to be decomposed contains labile compounds in its chemical composition, which are mineralized at the beginning of the decomposition, since they represent the most soluble fraction of the material used, and as this fraction decomposes, mineralization tends to become slower because microorganisms have more difficulties in mineralizing the resistant fraction of the remaining compounds (GIACOMINI et al., 2008; PULROLNIK, 2009). The behavior of the mineralization curve can be described by mathematical functions that constitute nonlinear regression models (FERNANDES et al., 2011; SILVA et al., 2019b; ZEVIANI et al., 2012; SOUZA et al., 2010; SILVA et al. 2020).

The Stanford and Smith nonlinear model is the most used to describe the mineralization of organic matter in soil (FERNANDES et al., 2011; BARRETO et al., 2010; MARTINES et al., 2006; ANDRADE et al., 2013; ANDRADE et al., 2015; NUNES et al., 2016; PAULA et al., 2013).

When the decomposition has two phases of mineralization, due to chemical composition, the Cabrera model has shown a good fit (SILVA et al., 2019b; 2019c).

Therefore, given the direct importance of soil management more favorable to the production of agricultural crops, it becomes relevant the understanding of the dynamics that involves the decomposition of organic residues in soil, and for this it is important to know the carbon mineralization curves over time.

In order to improve the productive capacity of the soil, it is necessary to understand the carbon dynamics during the decomposition of crop residues. The goal of this study was to compare the fit of three nonlinear models – Stanford and Smith, Cabrera and Juma – to describe the carbon mineralization in soil with wheat straw and swine manure over time, as well as to evaluate C mineralization of wheat straw alone and in combination with swine manure.

## Material and methods

Data used for fitting the models were extracted from Luz (2007), and correspond to the results in means of an experiment that evaluated carbon mineralization in different treatments involving doses of swine manure in soil and wheat straw. The experiment was carried out in Santa Maria, state of Rio Grande do Sul, in the Soil and Environment Microbiology Laboratory, Soil Department, University of Santa Maria.

The soil used is classified as arenic dystrophic red argisol, and was collected in the 0-10 cm layer on July 1, 2006. The area in which the soil was collected had been grown with corn since 1998, in no-till system. After removing the crop residues remaining on the soil surface, soil was collected and transported to the laboratory for homogenization and sieving through 4.0 mm mesh, remaining stored moist in plastic bags, at room temperature, until incubation. The contents of C and N were determined by dry combustion, and the excess  $^{13}\text{C}$ , by mass spectrometry. Values of the contents of C and N were: 42.7% and 0.65% (C/N = 65) respectively, and the excess  $^{13}\text{C}$ , 2.016%. There was determination of the nitrate content ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ) of the water-soluble fraction of straw, by colorimetry, representing 16.2% total nitrogen content. Liquid swine manure was collected from a farm in the city of Restinga Seca, state of Rio Grande do Sul. The levels of organic C, total N, ammonia N, dry matter and pH values of swine manure were determined according to the methodology described in Tedesco et al. (1995).

The experiment was a randomized block design with four replications and the following treatments: T1 – soil (S), T2 – soil + straw on the surface (SSUR), T3 – soil + incorporated straw (INCS), T4 – soil + manure on the surface (MSUR), T5 – soil + incorporated manure (INCM), T6 – soil + incorporated manure + straw on the surface (INCMSSUR), T7 – soil + incorporated manure + incorporated straw (INCMINCS), T8 – soil + straw on the surface + manure on the surface (SSURMSUR). The amount of mineralized carbon was evaluated at 2, 4, 6, 9, 15, 25, 40, 60, 80, 95 days of incubation, totaling 10 observations.

In addition to these treatments, three flasks containing the NaOH solution (blank) were incubated to capture the C-CO<sub>2</sub> from the internal atmosphere of the flasks of all treatments. Thirty-two experimental units were set up (8 treatments and 4 replications), consisting of acrylic containers, 5.0 cm high and 5.0 cm diameter, with a capacity of 110.0 mL, added with soil of each treatment. To each acrylic container was added 131.0 g soil with 15.0 % moisture, equivalent to 117.8 g soil dried at 105 °C. Moisture was maintained at field capacity.

The C-CO<sub>2</sub> released in each treatment was captured in 10.0 mL of a 1 mol L<sup>-1</sup> NaOH solution placed in a 37.0 mL glass vial, suspended on the top of each flask. The excess NaOH in each sampling interval was titrated with a solution of 1 mol L<sup>-1</sup> HCl, after precipitation of carbonate with a solution of 1 mol L<sup>-1</sup> BaCl<sub>2</sub>.

Nonlinear models evaluated are: Cabrera (1), Juma (2) and Stanford and Smith (3) with the following equations:

$$y_i = C_1(1 - \exp(-k_1 t_i)) + k_0 t_i + u_i \quad (1)$$

$$y_i = C_0 t_i / (v + t_i) + u_i \quad (2)$$

$$y_i = C_0(1 - \exp(-kt_i)) + u_i \quad (3)$$

at which:

$u_i = \phi_1 u_{i-1} + \dots + \phi_p u_{i-p} + \varepsilon_i$ , with  $i = 1, 2, \dots, n$  and  $n$  is the number of times measurements were taken;

$u_i$  is the residual of the fit in the  $i$ -th time;

$\phi_1$  is the autoregressive parameter of order 1;

$u_{i-1}$  is the residual of the fit of time immediately before the  $i$ -th measurement;

$\phi_p$  is the autoregressive parameter of order  $p$ ;

$u_{i-p}$  is the residual of the fit in  $p$  times before the  $i$ -th measurement;

$\phi_i$  is the blank residue, with normal distribution,  $N(0, \sigma^2)$ .

In the models, when the residuals are independent, the parameters  $\phi_i$  will be null, and consequently  $u_i = \varepsilon_i$  (MAZZINI et al., 2003; GUEDES et al., 2004).

In equations (1), (2) and (3),  $y_i$  defines the average value of the mineralized carbon amount in times  $t_i$  in days;  $C_0$  indicates the value of the potentially mineralizable carbon amount;  $C_1$  is the easily mineralizable carbon amount;  $k$ ,  $k_1$ ,  $k_0$  are mineralization rates;  $v$  is half-life;  $t_i$  refers to the time of the  $i$ -th measurement, expressed in days (PEREIRA et al., 2005). In addition, the Cabrera model considers two carbon fractions, one that is easily mineralizable ( $C_1$ ) and the other, resistant ( $k_0$ ). The Stanford and Smith and Juma models consider only a fraction of carbon that is potentially mineralizable ( $C_0$ ). The half-life time ( $v$ ) of the potentially mineralizable carbon for the Stanford and Smith model was estimated by the equation:

$$v = \ln(2)/k. \quad (4)$$

The estimation of the parameters  $C_0$ ,  $C_1$ ,  $k$ ,  $k_1$ ,  $k_0$  and  $v$  of the models was done by the least squares method, through which the nonlinear normal equations system is obtained. In the case of nonlinear models, the system does not present a direct solution, requiring the use of iterative numerical algorithms to obtain the parameter estimates (DRAPER; SMITH, 2014). Several iterative processes are described in the literature, and the algorithm used in the present study was the Gauss-Newton one. This algorithm considers the Taylor series expansion to approximate the nonlinear regression model with linear terms and then apply the method of ordinary least squares to estimate the parameters (MUIANGA et al., 2016; MUNIZ et al., 2017; FERNANDES et al., 2017; RIBEIRO et al., 2018a; RIBEIRO et al., 2018b; SOUSA et al., 2014; SILVA et al., 2019a; OLIVEIRA et al., 2013; PEREIRA et al., 2005; PEREIRA et al., 2009). Calculations of estimates for the sample data, as well as the graphic adjustments and all the computational part involved in the elaboration of this study were obtained using the statistical software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2016).

Assuming the normality of residuals, the confidence intervals for parameter estimates were also obtained. According to Draper and Smith (2014), the 95% confidence interval for the  $\beta_i$  parameter is defined as:

$$IC(\beta_i) : b_i \pm t(v;0;0.25) \tag{5}$$

at which:

$b_i$  is the estimate for the parameter ( $\beta_i$ );

$S(b_i)$  is the standard error of the estimate;

$t(v;0;0.25)$  is the upper quantile of the Student's t distribution, considering  $\alpha = 5\%$  and the degree of freedom  $v = n - d$ , where  $d$  is the number of parameters of the model.

The Durbin Watson test allowed to verify the presence of residual dependence between the measures, evaluating whether the residual of an observation can be associated with the residual of adjacent observations (HOFFMANN AND VIEIRA, 1998). The Breusch-Pagam test was applied to check the homogeneity of the residuals and the Shapiro-Wilk test, to check normality.

Models were compared as to the goodness of fit and it was indicated which model was the most appropriate to describe the mineralization curve as a function of time. The following criteria were used:

- i. Coeficiente de determinação ajustado,  $R^2_{aj}$  :

$$R^2_{aj} = 1 - \frac{(1-R^2)(n-1)}{(n-d)} ; \tag{6}$$

at which

$R^2$  is the coefficient of determination;

$n$  is the number of observations; and

$d$  is the model number of parameters. One model should be preferred over the other if it has a higher  $R^2_{aj}$ .

- ii. Akaike Information Criterion, AIC

$$AIC = 2\log L(\tilde{\theta}) + 2p \tag{7}$$

at which

$L(\tilde{\theta})$  is the maximum of the likelihood function;

$p$  is the number of parameters in the model; and

$\log$  is the natural logarithm operator. Between two models, the lower the AIC value, the better the model fits the data.

- iii. Residual standard deviation, RSD

$$RSD = \sqrt{MSE} \tag{8}$$

at which

MSE is the mean squared error.

RSD is proportional to the mean squared error, so lower values indicate better fits.

Carbon mineralization of wheat straw was calculated based on the  $C_0$  estimates of the Stanford and Smith and Juma models. Carbon mineralization for treatments using straw alone was calculated based on the equation:

$$MC = \left( \frac{C_{O\text{ straw}} - C_{O\text{ soil}}}{C_{\text{added}}} \right) 100 \quad (9)$$

And for treatments with the use of straw combined with manure, based on the equation:

$$MC = \left( \frac{C_{O\text{ straw+manure}} - C_{O\text{ manure}}}{C_{\text{added}}} \right) 100 \quad (10)$$

at which

MC is carbon mineralization of the straw (% added carbon);

$C_{O\text{ straw}}$  is the estimate of the potentially mineralizable carbon of the straw by the Stanford and Smith or Juma models.

$C_{O\text{ soil}}$  is the estimate of the potentially mineralizable carbon of the soil by the Stanford and Smith or Juma models.

$C_{O\text{ straw+manure}}$  is the estimate of the potentially mineralizable carbon of the treatments with straw + manure by the Stanford and Smith or Juma models.

$C_{O\text{ manure}}$  is the estimate of the potentially mineralizable carbon of manure by the Stanford and Smith or Juma models.

$C_{\text{added}}$  is the added carbon (Mg kg<sup>-1</sup>) with the straw, which was 2,135 Mg kg<sup>-1</sup> dry soil.

## Results and discussion

The Shapiro-Wilk, Breusch-Pagan and Durbin-Watson tests were applied to analyze the experimental errors (Table 1). According to the results of the Shapiro-Wilk test, there was residual normality for all models and all treatments. Also, there was residual homogeneity in all models and treatments by the Breusch-Pagan test ( $p > 0.05$ ). In the Durbin-Watson test, there was a correlation in all models and treatments, except for the INCS, MSUR and INCM treatments in the Cabrera model, and for the S treatment in all models. In the treatments in which there was a correlation, fits with first order autoregressive errors AR (1) were used to elucidate the dependence of residuals of these treatments. Since these measurements were performed on the same plot over time, this correlation in errors was expected. Silveira et al. (2018) also reported a correlation in the errors in the fit of the nonlinear model of the cumulative biogas production from swine manure. Paula et al. (2020) also found a correlation in the fit of nonlinear models in data on carbon mineralization of swine manure in the soil.

**Table 1** – P-values of the Shapiro-Wilk (SW), Durbin-Watson (DW) and Breusch-Pagan (BP) tests applied to errors of models for mineralized carbon, in mg CO<sub>2</sub>/kg, of the analyzed treatments.

Treatments	Model	SW p-value	BP p-value	DW p-value
S	Stanford and Smith	0.2369	0.0722	0.1900
S	Cabrera	0.7060	0.1035	0.7460
S	Juma	0.2684	0.0717	0.1980
SSUR	Stanford and Smith	0.4431	0.2497	<b>0.0380</b>
SSUR	Cabrera	0.5229	0.4271	<b>0.0020</b>
SSUR	Juma	0.2953	0.2483	<b>0.0240</b>
INCS	Stanford and Smith	0.2015	0.5981	<b>0.0020</b>
INCS	Cabrera	0.6539	0.3160	0.0820
INCS	Juma	0.1124	0.7140	<b>0.0020</b>
MSUR	Stanford and Smith	0.1377	0.4170	<b>0.0000</b>
MSUR	Cabrera	0.1595	0.9598	0.1140
MSUR	Juma	0.1321	0.4239	<b>0.0000</b>

(continue...)

**Table 1** – Continuation

Treatments	Model	SW p-value	BP p-value	DW p-value
INCM	Stanford and Smith	0.2532	0.1365	<b>0.0040</b>
INCM	Cabrera	0.5405	0.4089	0.3720
INCM	Juma	0.0337	0.0689	<b>0.0060</b>
INCMSSUR	Stanford and Smith	0.6424	0.4077	<b>0.0140</b>
INCMSSUR	Cabrera	0.8138	0.5319	<b>0.0000</b>
INCMSSUR	Juma	0.2244	0.6440	<b>0.0060</b>
INCMINCS	Stanford and Smith	0.4786	0.2684	<b>0.0020</b>
INCMINCS	Cabrera	0.2239	0.5670	<b>0.0460</b>
INCMINCS	Juma	0.2398	0.6673	<b>0.0100</b>
SSURMSUR	Stanford and Smith	0.8461	0.3763	<b>0.0020</b>
SSURMSUR	Cabrera	0.8076	0.6870	<b>0.0320</b>
SSURMSUR	Juma	0.4351	0.3500	<b>0.0200</b>

**Source:** Elaborated by the authors (2019).

Tables 2, 3 and 4 list the estimates of the model parameters with their respective 95% confidence intervals.

**Table 2** – Estimates for the Stanford and Smith model parameters and their respective asymptotic 95% confidence intervals (LL - lower limit and UL - upper limit) in the fit of mineralized C, in mg of CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup>, of the analyzed treatments.

Stanford and Smith Model							
S				SSUR			
	LL	Estimates	UL		LL	Estimates	UL
C <sub>0</sub>	452.9373	619.7000	1192.4610	C <sub>0</sub>	1232.7100	1455.4100	1678.1100
k	0.0035	0.0079	0.0126	k	0.0152	0.0235	0.0318
v	55.0116	87.7401	198.0420	v	21.7970	29.4956	45.6017
				φ		0.5430	
INCS				MSUR			
	LL	Estimates	UL		LL	Estimates	UL
C <sub>0</sub>	1572.7470	1763.0000	2028.8900	C <sub>0</sub>	233.4000	423.1000	612.9000
k	0.02432	0.0345	0.04727	k	0.0208	0.0269	0.0746
v	14.6635	20.0912	28.5011	v	9.2915	25.7675	33.3243
				φ		0.8073	
INCM				INCMSSUR			
	LL	Estimates	UL		LL	Estimates	UL
C <sub>0</sub>	281.4854	323.6000	387.8470	C <sub>0</sub>	1422.5470	1631.7418	1840.9360
k	0.0228	0.0360	0.0536	k	0.0180	0.0266	0.0351
v	12.9318	19.2540	30.4011	v	19.7477	26.0581	38.5081
				φ		0.6268	

(continue...)

**Table 2** – Continuation

	INCMINCS				SSURMSUR		
	LL	Estimates	UL		LL	Estimates	UL
$C_0$	1406.6100	1608.8496	18110.8400	$C_0$	1556.9400	1732.8700	1908.8100
$k$	0.0322	0.0519	0.0714	$k$	0.0293	0.0416	0.0539
$v$	9.7079	13.3554	21.5263	$v$	12.8598	16.6621	23.6569
$\phi$		0.6577		$\phi$		0.6453	

Source: Elaborated by the authors (2019).

**Table 3** – Estimates for the Cabrera model parameters and their respective asymptotic 95% confidence intervals (LL - lower limit and UL - upper limit) in the fit of mineralized C, in mg of  $CO_2$  kg<sup>-1</sup>, of the treatments analyzed.

Cabrera Model							
	S				SSUR		
	LL	Estimates	UL		LL	Estimates	UL
$C_1$	18.1347	33.5663	48.9980	$C_1$	223.9000	547.4000	870.9000
$k_1$	0.0074	0.14886	0.2899	$k_1$	0.0017	0.0728	0.1439
$k_0$	2.9612	3.1938	3.4266	$k_0$	4.3787	8.3028	12.2269
$v$	2.3909	4.6551	93.6685	$v$	4.8168	9.5212	407.7336
				$\phi$		0.4940	

	INCS				MSUR		
	LL	Estimates	UL		LL	Estimates	UL
$C_1$	631.6181	761.3340	938.36b87	$C_1$	117.3150	142.1310	173.5589
$k_1$	0.0739	0.1052	0.1506	$k_1$	0.1719	0.3051	0.6565
$k_0$	8.8246	11.1677	13.0359	$k_0$	2.4332	2.9236	3.3481
$v$	4.6025	6.5885	9.3795	$v$	1.0558	2.2718	4.0322

	INCM				INCMSSUR		
	LL	Estimates	UL		LL	Estimates	UL
$C_1$	116.2500	132.1170	150.8641	$C_1$	498.8000	708.0000	917.3000
$k_1$	0.1002	0.1288	0.1671	$k_1$	0.0411	0.0752	0.0140
$k_0$	1.9303	2.1962	2.4334	$k_0$	6.1881	8.8165	11.4449
$v$	4.1480	5.3815	6.9176	$v$			
				$\phi$		0.22829	

	INCMINCS				SSURMSUR		
	LL	Estimates	UL		LL	Estimates	UL
$C_1$	847.6240	955.2640	1062.9000	$C_1$	865.2448	1024.4400	1183.6400
$k_1$	0.1000	0.1290	0.1572	$k_1$	0.0676	0.0913	0.1148
$k_0$	6.4020	7.9541	9.5060	$k_0$	5.8002	7.9247	10.0491
$v$	4.4093	5.3732	6.9314	$v$	6.0378	7.5919	10.2536
$\phi$		0.1615		$\phi$		0.2062	

Source: Elaborated by the authors (2019).



**Table 4** – Estimates for the Juma model parameters, and their respective asymptotic 95% confidence intervals (LL - lower limit and UL - upper limit) in the fit of mineralized C, in mg of CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup>, of the treatments analyzed.

Juma Model							
S				SSUR			
	LL	Estimates	UL		LL	Estimates	UL
C <sub>0</sub>	718.8202	1041.8700	2049.2070	C <sub>0</sub>	1637.8318	1973.8859	2309.9400
v	121.2930	206.2100	476.3200	V	30.2050	48.9256	67.6456
				φ		0.5006	
INCS				MSUR			
	LL	Estimates	UL		LL	Estimates	UL
C <sub>0</sub>	2111.3563	2485.1280	2858.9008	C <sub>0</sub>	247.3000	479.7000	712.1000
v	23.4403	38.9656	54.4908	V	-10.2374	22.3519	54.9411
φ		0.7673		φ		0.6609	
INCM				INCMSSUR			
	LL	Estimates	UL		LL	Estimates	UL
C <sub>0</sub>	365.9460	461.5983	557.2490	C <sub>0</sub>	1867.6131	2140.1080	2412.6040
v	17.1430	37.7030	58.2630	V	27.4885	39.9532	52.4170
φ		0.7152		φ		0.5417	
INCMINCS				SSURMSUR			
	LL	Estimates	UL		LL	Estimates	UL
C <sub>0</sub>	1724.0700	1900.0640	2076.0500	C <sub>0</sub>	1952.0700	2119.2298	2286.3800
v	10.9190	15.7996	20.6790	V	16.6654	21.8408	27.0160
φ		0.5455		φ		0.5005	

**Source:** Elaborated by the authors (2019).

Considering the confidence intervals for the estimate of parameter (C<sub>0</sub>) in the Stanford and Smith model, there was an overlap in the confidence intervals of the treatments SSUR, INCMSSUR, INCMINCS and SSURMSUR, indicating that all treatments had the same amount of potentially mineralizable carbon, which were higher than the amount in treatments S, INCS, MSUR and INCM. These results occur due to the increase in the carbon content from straw and/or manure available to microorganisms, thus stimulating the mineralization of the added carbon, as well as the degradation of soil organic matter (FERNANDES et al. 2011).

In the Cabrera model, considering the confidence intervals for the estimation of parameter (C<sub>1</sub>), the amount of easily mineralizable carbon followed the order: S<MSUR=INCM<SSUR=INCS=INCMSSUR=INCMINCS=SSURMSUR. Taking into account the parameter (k<sub>0</sub>), there was an overlap between the confidence intervals of the MSUR and INCM treatments, thus, they had the same mineralization rate as the resistant carbon. The INCS, SSUR, INCMSSUR, INCMINCS and SSURMSUR treatments had the highest rate of resistant carbon mineralization in relation to the other treatments.

In the Juma model, considering parameter (C<sub>0</sub>), the SSUR and INCS treatments had the same amount of potentially mineralizable carbon, as there was an overlap in the confidence intervals. The same occurred in the INCMSSUR and INCMINCS treatments, as well as in the MSUR and INCM treatments, that showed the same amount of potentially mineralizable carbon. According to Silva et al. (2019b) and Giacomini et al. (2008), the result presented shows that there is a fraction of C in the

residues that is difficult to decompose, regardless of whether they are incorporated into the soil or on the surface, whether they are in greater contact with the microorganisms.

Considering the confidence intervals for the estimation of parameter ( $v$ ), half-life, in the Stanford and Smith model, there was no difference between the time spent to mineralize half of the potentially mineralizable carbon between the SSURMSUR and INCMINCS treatments. The S treatment in relation to the SSUR, INCMSSUR, INCMINCS and SSURMSUR treatments took longer to mineralize half of the potentially mineralizable carbon (PMC), this happens because there were no nitrogen supplied by manure and straw to the soil and, consequently, the growth and development of microorganisms were not stimulated (SAVIOZZI et al. 1997).

In the Cabrera model, taking into account the confidence intervals for the estimation of the half-life, there was a difference between the INCM and MSUR treatments, in which manure on the surface spent less time compared to the incorporated residues for half of the ( $C_1$ ) to be mineralized.

In the Juma model, considering the confidence intervals for the estimation of parameter ( $v$ ), treatment S spent more time than the others to mineralize half of (PMC), due to the lack of nitrogen from manure and straw (SAVIOZZI et al. 1997).

All models had excellent fits in all treatments, since the values of the adjusted coefficient of determination ( $R^2_{aj}$ ) were above 95%, as can be seen in Table 5. In addition, for each treatment, similar values were obtained for the residual standard deviation of the models (Table 5). In the fit of nonlinear models, Stanford and Smith and Cabrera, for carbon mineralization of swine manure and oat straw in soil, Silva et al. (2019b) obtained values of  $R^2_{aj}$  greater than 0.97, indicating that the models adequately describe the data.

For all treatments, the most suitable model was the Cabrera one, as it presented the lowest AIC values and the highest  $R^2_{aj}$  values compared to the Stanford and Smith and Juma models; thus, these treatments present mineralizable carbon fractions with exponential behavior and more resistant fractions, with constant mineralization. The fit of the Cabrera model to the treatments can be seen in Figures 1 and 2.

In the literature, the Stanford and Smith model is widely used to describe the carbon mineralization in soil (FERNANDES et al., 2011; BARRETO et al., 2010; MARTINES et al., 2006). However, in the present study, this model did not obtain a better fit in the treatments under study, in relation to the Juma and Cabrera models.

**Table 5** – Estimates of the selection criteria: adjusted coefficient of determination ( $R^2_{aj}$ ), Akaike Information criterion (AIC) and residual standard deviation (RSD) for the models fit in the description of mineralized carbon, in  $\text{mg CO}_2 \text{ kg}^{-1}$ , of the treatments analyzed.

Treatment	Model	Selection criteria		
		$R^2_{aj}$	AIC	RSD
S	<b>Stanford and Smith</b>	0.9935	78.0287	9.91
	<b>Cabrera</b>	0.9987	70.2000	6.48
	<b>Juma</b>	0.9938	77.3315	9.57
	<b>Stanford and Smith</b>	0.9855	112.3871	58.51
SSUR	<b>Cabrera</b>	0.9985	103.4000	117.77
	<b>Juma</b>	0.9902	108.3809	46.61
	<b>Stanford and Smith</b>	0.9976	114.3000	93.10

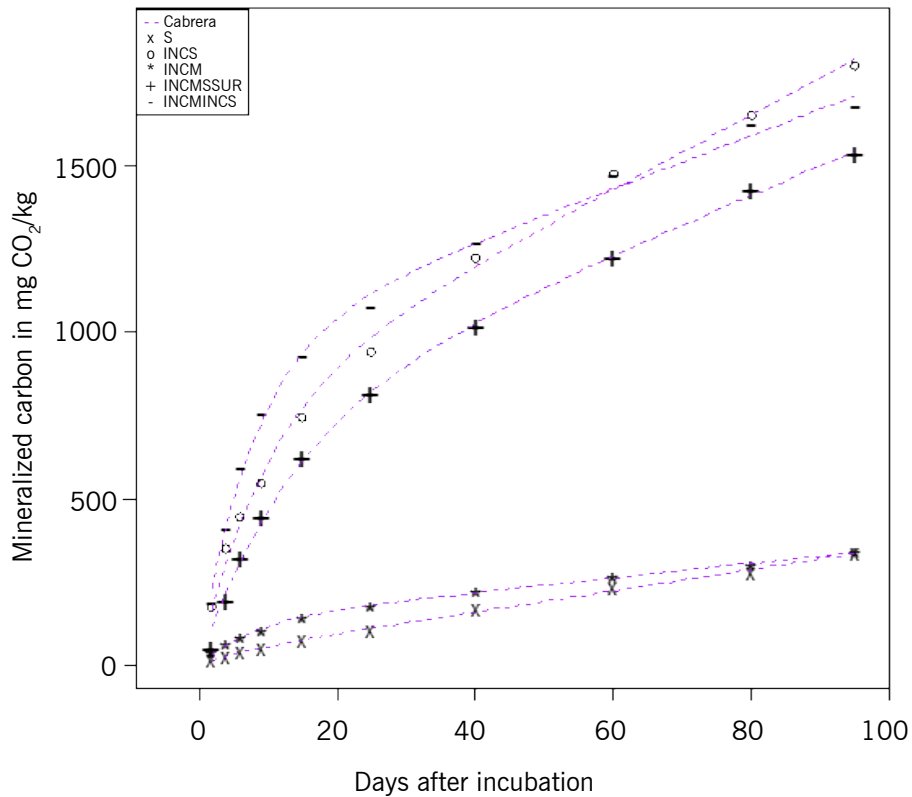
(continue...)

**Table 5** – Continuation

Treatment	Model	Selection criteria		
INCS	Cabrera	0.9963	104.1344	35.38
	Juma	0.9872	111.2599	70.49
	Stanford and Smith	0.9875	101.9000	40.75
MSUR	Cabrera	0.9885	83.4880	12.60
	Juma	0.9909	98.9000	32.12
	Stanford and Smith	0.9980	79.2000	21.60
INCM	Cabrera	0.9976	65.7400	5.18
	Juma	0.9805	85.2416	17.76
	Stanford and Smith	0.9858	113.4718	66.07
INCMSSUR	Cabrera	0.9991	101.9000	119.90
	Juma	0.9927	107.7196	46.29
	Stanford and Smith	0.9665	122.9191	109.2511
INCMINCS	Cabrera	0.9946	106.7994	37.01
	Juma	0.9865	113.3056	61.36
	Stanford and Smith	0.9813	118.1900	85.18
SSURMSUR	Cabrera	0.9951	107.9176	39.44
	Juma	0.9933	108.9506	47.94

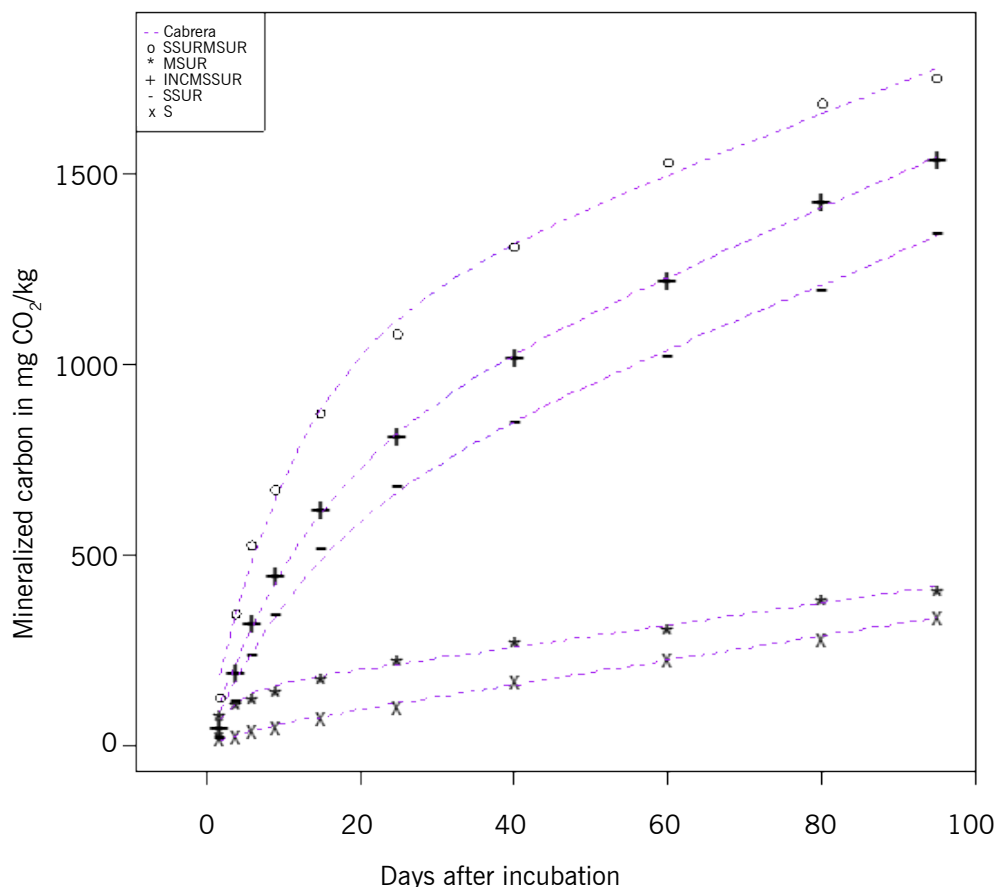
Source: Elaborated by the authors (2019).

**Figure 1** – Cabrera model fit to carbon mineralization, in mg of CO<sub>2</sub>.kg<sup>-1</sup>, of the residues incorporated in soil according to incubation time.



Source: Elaborated by the authors (2019).

**Figure 2** – Cabrera model fit to carbon mineralization, in mg of CO<sub>2</sub>.kg<sup>-1</sup>, of the residues on the surface in soil according to incubation time.



**Source:** Elaborated by the authors (2019).

Table 6 lists the percentages of carbon mineralization (CM) of wheat straw alone and combined with swine manure. Based on the Stanford and Smith model, the carbon percentage of straw on the surface was approximately 39.0 %, and straw incorporated into the soil was approximately 53.0 %. Adding manure, straw mineralized approximately 60.0 %, indicating that the manure favored mineralization of the carbon of the straw, regardless of whether the straw is incorporated or on the soil surface. This increase in mineralization of straw incorporated in relation to straw on the surface may be related to the fact that microorganisms have a greater facility to decompose the materials incorporated into the soil (FERNANDES et al. 2011). In cases where the farmer decides to perform straw management and maintain this carbon stock as a soil cover in the area, it is interesting that the straw is not easily decomposed, and according to the results presented, in this case it is more feasible to use straw on the surface of the soil without using manure, as it would increase carbon mineralization of the straw, which could hinder management and leave the soil more exposed because of the consumption of carbon stock. On the other hand, the addition of manure to wheat straw can benefit the crop present in the area, as pig manure contains several nutrients in its composition, in addition to a large amount of nitrogen, that is quite required by most agricultural crops.

**Table 6** – Carbon mineralization (CM) of wheat straw (% added carbon).

Treatment	Stanford and Smith	Juma
SSUR	39.14%	43.65%
INCS	53.55%	67.60%
INCMSSUR	61.27%	78.61%
INCMINCS	60.19%	67.37%
SSURMSUR	61.34%	76.79%

**Source:** Elaborated by the authors (2019).

Based on the Juma model, straw on the surface mineralized approximately 43.0 % added carbon; and the incorporated straw, approximately 67.0 %, which was expected, as the incorporation may have stimulated microorganisms to decompose the straw. With the addition of manure to the straw, carbon mineralization of straw was on average 77.0 %, regardless of whether the manure was incorporated or on the surface. This shows once again that the addition of manure to the straw increases carbon mineralization and the release of nutrients and, consequently, decreases the carbon stock that could be used as soil protection against weathering and invasive plants. Another noteworthy point is that the mineralization of straw in these treatments, with an average of 77%, obtained high rates of mineralization, and from an environmental point of view this is not good, as it causes an environmental impact due to the amount of CO<sub>2</sub> released into the atmosphere. On the other hand, with manure and straw incorporated into the soil, the percentage of mineralization was approximately 67.0 %.

In general, the treatments in which the straw was incorporated into the soil showed a higher percentage of mineralized carbon than the straw on the surface, thus leaving a smaller amount of carbon stock in soil. When pig manure was added to wheat straw, the percentage of mineralized carbon of the straw increased further, so the carbon stock of the straw decreased considerably because of mineralization. This is an interesting point for the farmer to consider in relation to the management of these residues, as the choice of whether or not to add manure to the straw will depend a lot on the production and management system the farmer wants to implant, because with the addition of manure, the soil becomes richer in nutrients over time; however, on the other hand, straw decomposition increased by the addition of manure may not be beneficial to the producer, as there may be an increase in the release of CO<sub>2</sub> into the environment, resulting in environmental impact. Moreover, straw on the soil has functions that are most often beneficial for soil conservation and crop production, such as controlling soil temperature, retaining water, increasing organic matter and controlling weeds.

## Conclusions

The description of carbon mineralization of wheat straw and swine manure by nonlinear models was satisfactory.

The Cabrera model was the most suitable to describe the carbon mineralization of all treatments, since these treatments present mineralizable carbon fractions with exponential behavior and more resistant fractions, with constant mineralization.

The Stanford and Smith model, despite being widely used in the literature, did not achieve better results compared to the other nonlinear models evaluated in this study.

The treatments in which the straw was incorporated into the soil showed a higher percentage of mineralized carbon than the ones in which the straw was on the surface, thus leaving a smaller amount of carbon stock in soil. When swine manure was added to wheat straw, the percentage of mineralized carbon of the straw increased even further, so carbon stock of the straw decreased considerably because of mineralization.

## Uso de modelagem da quantidade de carbono mineralizado de resíduos de dejetos de suínos e palha de trigo

### Resumo

Um método capaz de reduzir os efeitos ambientais provocados por dejetos de suínos e de enriquecer o solo com nutrientes baseia-se na utilização desses resíduos com a palha de resíduos culturais em solos para produções agrícolas. Por meio da utilização de curvas de mineralização de carbono, é possível determinar os melhores intervalos para a utilização da matéria orgânica oriunda dos dejetos de modo a adequar melhor o uso do solo e das culturas agrícolas. A dinâmica do carbono presente nos dejetos pode ajudar na escolha do melhor manejo. Objetivou-se com este estudo comparar o ajuste de três modelos não lineares que descrevem a mineralização de carbono no solo ao longo do tempo, além de avaliar o estoque de carbono da palha de trigo isolada e conjuntamente com dejetos de suínos. O experimento foi realizado usando o delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições e oito tratamentos. Foram utilizados os seguintes tratamentos: T1 – solo (S), T2 – solo + palha na superfície (PSUP), T3 – solo + palha incorporada (PINC), T4 – solo + dejetos em superfície (DSUP), T5 – solo + dejetos incorporados (DINC), T6 – solo + dejetos incorporados + palha em superfície (DINCPSUP), T7 – solo + dejetos incorporados + palha incorporada (DINCPINC), T8 – solo + palha em superfície + dejetos em superfície (PSUPDSUP). As amostras de solo coletadas foram incubadas por 95 dias e foram feitas 10 observações ao longo do tempo. A descrição da mineralização do carbono foi realizada por meio dos modelos não lineares Cabrera, Juma e Stanford e Smith, considerando estrutura de erros autorregressivos AR (1) quando necessário. A comparação dos ajustes dos modelos foi feita por meio do critério de informação Akaike (AIC). A descrição da mineralização do carbono da palha de trigo e dos dejetos de suínos realizada pelos modelos não lineares foi satisfatória. O modelo Cabrera foi o mais adequado para descrever todos os tratamentos. O modelo Stanford e Smith, mais utilizado na literatura para descrever a mineralização de resíduo orgânico no solo, não atingiu melhores resultados em relação aos outros modelos não lineares para os tratamentos em estudo. Em geral, os tratamentos com palha na superfície deixaram maior estoque de carbono no solo; na adição de dejetos à palha de trigo, o estoque de carbono foi menor, sendo assim, torna-se interessante aos produtores avaliarem a melhor estratégia a ser usada no uso dos resíduos de acordo com seus objetivos de produção.

**Palavras-chave:** Resíduo orgânico. Modelo Stanford e Smith. Modelo Cabrera. Modelo Juma.

### Referências

ANDRADE, C. A.; SILVA, L. F. M.; PIRES, A. M. M.; COSCIONE, A. R. Mineralização do carbono e do nitrogênio no solo após sucessivas aplicações de lodo de esgoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, p. 536-544, 2013. Doi:10.1590/S0100-204X2013000500010. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-204X2013000500010&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2013000500010&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 14 jan. 2019.

ANDRADE, C. A.; BIBAR, M. P. S.; COSCIONE, A. R.; PIRES, A. M. M.; SOARES, A. G. Mineralização e efeitos de biocarvão de cama de frango sobre a capacidade de troca catiônica do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, p. 407-416, 2015. doi:10.1590/S0100-204X2015000500008. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-204X2015000500407&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2015000500407&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 14 jan. 2019.

BARRETO, P. A. B.; RODRIGUES, E. F. G.; RODRIGUES, A. C. G.; BARROS, N. F.; ALVES, B. J. R.; FONSECA, S. Mineralização de nitrogênio e carbono em solos sob plantações de eucalipto, em uma sequência de idades. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 3, p. 735-745, jun. 2010. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-06832010000300015&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832010000300015&lng=en&nrm=iso). Acesso em: 14 jan. 2019.

CANODÁ, E. A. **Contaminação da água pelo uso agrícola de dejetos de suínos na bacia hidrográfica rio coruja/bonito, braço do Norte/SC**. 2017. 127 p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB. **Indicadores da agropecuária**, v. 38, n. 7, julho/2019.

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

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. Estatística/Desempenho da produção. Central de inteligência de aves e suínos, 2018.

FERNANDES, A. H. B. M.; 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: Embrapa Pantanal, 2011.

FERNANDES, T. J.; PEREIRA, A. A.; MUNIZ, J. A. Double sigmoidal models describing the growth of coffee berries. **Ciência Rural**, v. 47, p. 1-7, 2017. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-84782017000800401&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782017000800401&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 29 jan. 2019.

GIACOMINI, S. J.; AITA, C.; MIOLA, E. C.C.; RECOUS, S. Mineralização do carbono da palha de aveia e dejetos de suínos aplicados na superfície ou incorporados ao solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2661-2668, 2008. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-06832015000501428&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832015000501428&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 29 jan. 2019.

GUEDES, M. H. P.; MUNIZ, J. A.; PEREZ, J. R. O.; SILVA, F. F.; AQUINO, L. H.; SANTOS, C. L. Estudo das curvas de crescimento de cordeiros das raças Santa Inês e Bergamácia considerando Heterogeneidade de variâncias. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 2, p. 381-388, mar./abr. 2004. Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1413-70542004000200019&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-70542004000200019&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 15 jan. 2019.

HOFFMANN, R.; VIEIRA, S. **Análise de regressão: uma introdução a econometria**. 3. ed. São Paulo: Hucitec, 1998. 379 p.

LUZ, L. P. **Dinâmica do carbono durante a decomposição de palha de trigo marcada com <sup>13</sup>C e dejetos líquidos de suínos**. 2007. 61 p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.



MARTINES, A. M.; ANDRADE, C. A.; CARDOSO, E. J. B. N. Mineralização do carbono orgânico em solos tratados com lodo de curtume. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 7, p. 1149-1155, jul. 2006. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-204X2006000700011&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2006000700011&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 14 jan. 2019.

MAZZINI, A. R. A.; MUNIZ, J. A.; SILVA, F. F.; AQUINO, L. H.; SILVA, F. F. Análise da curva de crescimento de machos hereford. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 27, n. 5, p. 1105-1112, 2003. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1413-70542003000500019&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-70542003000500019&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 15 jan. 2019.

MOREIRA, F. M. S.; CARES, J. E.; ZANETTI, R.; STÜMER, S. L. **O ecossistema solo: componentes, relações ecológicas e efeitos na produção vegetal**. Lavras: UFLA, 2013.

MUIANGA, C. A.; MUNIZ, J. A.; NASCIMENTO, M. S.; FERNANDES, T. J.; SAVIAN, T. V. Descrição da curva de crescimento de frutos do cajueiro por modelos não lineares. **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](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-29452016000100022&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 15 jan. 2019.

MUNIZ, J. A.; NASCIMENTO, M. S.; FERNANDES, T. J. Nonlinear models for description of cacao fruit growth with assumption violation. **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](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1983-21252017000100250&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 15 jan. 2019.

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, p. 91-99, 2016. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s11676-015-0164-3>>. Acesso em 15 jan. 2019.

OLIVEIRA, W. J.; SILVA, C. A.; MUNIZ, J. A.; SAVIAN, T. V. Mineralização de nitrogênio em latossolos adubados com resíduos orgânicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 715-725, 2013. Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-06832013000300018&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832013000300018&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 19 jan. 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832013000300018>.

PAULA, G. S.; SILVA, E. M.; FURTADO, T. D. R.; FRÜHAUF, A. C.; MUNIZ, J. A. Comparação de modelos não lineares na descrição da mineralização do carbono no solo tratado com dejetos de suínos. **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre, v. 12, n. 1, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.18406/2316-1817v11n420191412>.

PAULA, J. R.; MATOS, A. T.; MATOS, M. P.; PEREIRA, M. S.; ANDRADE, C. A. Mineralização do carbono e nitrogênio de resíduos aplicados ao solo em campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 1729-1741, 2013. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-06832013000600029&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832013000600029&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em 12 nov. 2019.

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, ago. 2005. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-90162005000400014&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-90162005000400014&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 15 jan. 2019.

PEREIRA, J. M.; MUNIZ, J. A.; SÁFADI, T.; SILVA, C. A. Comparação entre modelos para predição do nitrogênio mineralizado: uma abordagem bayesiana. **Ciência e Agrotecnologia**. v. 33, Edição Especial, p. 1792-1797, 2009. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1413-70542009000700016&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-70542009000700016&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 15 jan. 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542009000700016>.

PULROLNIK, K. **Transformações do carbono no solo**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados; 2009.

R CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing Viena: 2019. Disponível em: <http://www.r-project.org>. Acesso em: 15 dez. 2019.

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, 2018a. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-29452018000400705](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, 2018b. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-84782018000100202&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782018000100202&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 15 jan. 2019.

SAVIOZZI, A.; LEVI-MINZI, R.; CARDELLI, R. RIFFALDI, R. The Influence of Heavy Metals on Carbon Dioxide Evolution from a Typic Xerochrept Soil. **Water Air and Soil Pollution**. v. 93, p. 409-417, 1997. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02404770>. Acesso em: 15 jan. 2019.

SILVA, E. M.; FRÜHAUF, A. C.; FERNANDES, F. A.; PAULA, G. S.; MUNIZ, J. A.; FERNANDES, T. J. Método de Newton e Gauss-Newton na estimação dos parâmetros de modelo de regressão não linear. **Sigmae**, v. 8, n. 2, p. 728-734, 2019a. Disponível em: <<https://publicacoes.unifal-mg.edu.br/revistas/index.php/sigmae/article/view/946/692>>. Acesso em: 15 jan. 2019.

SILVA, E. M.; FURTADO, T. D. R.; FRÜHAUF, A. C.; MUNIZ, J. A.; FERNANDES, T. J. Bayesian approach to the zinc extraction curve of soil with sewage sludge. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 42 p. 1-9, 2020. Disponível em: <<http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciTechnol/article/view/46893/751375149043>>. Acesso em: 15 jan. 2020.

SILVA, E. M.; RIBEIRO, T. D.; FERNANDES, J. G.; MUNIZ, J. A. Descrição da mineralização do carbono de dejetos de suíno e palha de aveia no solo por modelos não lineares. **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre, v. 11, p. 210-225, 2019b. Disponível em: <[https://agrogeoambiental.ifsuldeminas.edu.br/index.php/Agrogeoambiental/article/view/1299/pdf\\_1](https://agrogeoambiental.ifsuldeminas.edu.br/index.php/Agrogeoambiental/article/view/1299/pdf_1)>. Acesso em: 15 out. 2019.

SILVA, E. M.; SILVEIRA, S. C.; RIBEIRO, T. D.; MUNIZ, J. A. Descrição da decomposição do lodo de esgoto e palha de aveia por modelos não lineares. **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre, v. 11, p. 153-164, 2019c. Disponível em: <[https://agrogeoambiental.ifsuldeminas.edu.br/index.php/Agrogeoambiental/article/view/1287/pdf\\_1](https://agrogeoambiental.ifsuldeminas.edu.br/index.php/Agrogeoambiental/article/view/1287/pdf_1)>. Acesso em: 15 out. 2019.

SILVEIRA, S. C. MUNIZ, J. A. SOUSA, F. A. CAMPOS, A. T. Modelos não lineares ajustados à produção acumulada de biogás provenientes de camas sobrepostas de suínos. **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre, v. 10, n. 3, p. 91-103, jul./set. 2018. Disponível em: <<https://agrogeoambiental.ifsuldeminas.edu.br/index.php/Agrogeoambiental/article/view/1168>>. Acesso em: 14 jan. 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.18406/2316-1817v10n320181168>.

SOUSA, I. F.; NETO, J. E. K.; 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](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782014001102016)>. Acesso em: 15 jan. 2019.

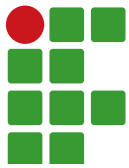
SOUZA, E. M.; MUNIZ, J. A.; MARCHI, G.; GUILHERME, L. R. G. Non-linear modeling of zinc extracted from a sewage sludge – treated. **Acta Scientiarum Technology**, v. 32, p. 193–199, 2010. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/233800672\\_Non-linear\\_modeling\\_of\\_zinc\\_extracted\\_from\\_a\\_sewage\\_sludge-treated\\_soil](https://www.researchgate.net/publication/233800672_Non-linear_modeling_of_zinc_extracted_from_a_sewage_sludge-treated_soil)>. Acesso em: 15 jan. 2019.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. Análise de solo, plantas e outros materiais. **Boletim Técnico de Solos**, 5, 2. ed. 174p., Porto Alegre, Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1995.

ZEVIANI, W. M.; SILVA, C. A.; CARNEIRO, W. J. O.; MUNIZ, J. A. Modelos não lineares para a liberação de potássio de esterco animal em latossolos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 10, p. 1789-1796, out, 2012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cr/v42n10/a28712cr3006.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2019.

**Received:** August 27, 2019

**Accepted:** March 25, 2020



# Odonata (Insecta) species richness in the Parque Estadual do Ibitipoca, Southeast Brazil

Caio Silva dos Anjos<sup>1</sup>

Lucas Rocha Milani<sup>2</sup>

Marcos Magalhães de Souza<sup>3</sup>

## Abstract

There are few studies on Odonata communities in Brazil, even in its most deeply studied states, such as Minas Gerais. Therefore, it is proposed the presentation of results on the Odonata species richness of Parque Estadual do Ibitipoca (Ibitipoca State Park), located at the Zona da Mata region in the Minas Gerais state, Brazil. This Conservation Unit is considered a priority area for the conservation of the state's invertebrates. The objective of this study was to know the number of species within the area. 100 hours of sampling were carried out, distributed amongst five campaigns of four consecutive days between November 2016 and July 2017. There were recorded 20 different species, including a new record for the state and one potential new species. Species richness was low due to the sampling being focused exclusively on lotic systems, and also to the environment's homogeneity. Despite the low number of species, Parque Estadual do Ibitipoca is relevant to the conservation of the Minas Gerais state's Odonata.

**Keywords:** Checklist. Conservation unit. Dragonflies. Minas Gerais. Rock Field.

## Introduction

The order Odonata comprises insects popularly known as dragonflies and damselflies (MACHADO et al., 1998). This group is formed by the suborders Anisoptera and Zygoptera (KALKMAN et al., 2008), distributed in Brazil in 860 species of 14 families and 146 genera (PINTO 2019).

Odonata species are important agents in the trophic chains of freshwater environments and associated terrestrial ecosystems, as most species have aquatic larvae and winged adults, and in both phases, they are predators of many other animals (KALKMAN et al., 2008; RAMÍREZ 2010, RAFAEL et al., 2012). They are great organisms to be used as bioindicators of water-bodies quality, due to their unique characteristics and special physiological needs of the larvae (CLARK; SAMWAYS, 1996; BULÁNKOVÁ 1997; DUTRA; DE MARCO 2015, MENDES et al., 2017; MIGUEL et al., 2017).

Studies of dragonflies's diversity in Minas Gerais were carried out in areas of Rocky Field on Refúgio da Vida Silvestre das Libélulas, Serra de São José (BEDÊ et al., 2015); in Semideciduous Seasonal Forest Montana, on Baú Mata, Barroso municipality (SOUZA et al., 2013), in Bueno Brandão municipality (AMORIM 2017) and Poços de Caldas (SANTOS 1966); in Deciduous Seasonal Forest,

1 Universidade Federal do Paraná, Setor de Zoologia, Programa de Pós-graduação em Entomologia. Discente. Laboratório de Sistemática de Insetos Aquáticos. [caioanjos\\_bd@hotmail.com](mailto:caioanjos_bd@hotmail.com)

2 Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais (IFSULDEMINAS), Campus Inconfidentes. Biólogo Colaborador do Laboratório de Zoologia. [lucassmilani@gmail.com](mailto:lucassmilani@gmail.com).

3 IFSULDEMINAS, Campus Inconfidentes. Professor doutor. Laboratório de Zoologia [marcos.souza@ifsulde Minas.edu.br](mailto:marcos.souza@ifsulde Minas.edu.br) (Autor para correspondência)

at the Refúgio da Vida Silvestre do Rio Pandeiros (SOUZA et al., 2017); in Ombrophilous forest associated to the semideciduous Montana forest in Viçosa, Marliéria and Parque Estadual do Rio Doce (FERREIRA-PERUQUETTI; DE MARCO JR. 2002); in Cerrado in the Parque Nacional da Serra do Cipó (ALMEIDA et al., 2013) and Sucupira Reservoir in the Uberabinha River, in Uberlândia municipality (BARBOSA et al., 2019); in Cerrado and Eucalyptus monoculture region in a preserved area of the Nova Fazenda Monte Carmelo, in the Triângulo Mineiro region (BORGES et al., 2019) and in Mixed Forest and Altitude Field in the Parque Nacional da Serra do Papagaio (DOS ANJOS 2017) (Table 1).

**Table 1** – Relationship between sampled area and number of species in studies conducted with species inventories in the state of Minas Gerais, Brazil.

Area	Municipalities	Phytophysiognomy	Number of species	References
Mata do Baú	Barroso	Seasonal Semi-Deciduous Montane Forest	57	Souza et al. (2013)
Bueno Brandão	Bueno Brandão	Seasonal Semi-Deciduous Montane Forest	73	Amorin et al. (2018)
Preserved Area of Nova Fazenda Monte Carmelo	Araguari, Estrela do Sul, Indianópolis, Nova Ponte, e Romaria	<i>Cerrado</i> (tropical savanna) and Eucalyptus culture	36	Borges et al. (2019)
Poços de Caldas	Poços de Caldas	Seasonal Semi-Deciduous Montane Forest	58	Santos (1966)
Serra de São José	Tiradentes	<i>Campos Rupestres</i> (rock fields)	128	Bedê et al. (2015)
Parque Estadual do Rio Doce	Viçosa e Marliéria	Ombrophilous Forest associated to Semi-Deciduous Montane Forest	28	Ferreira-Peruquetti; De Marco Jr. (2002)
Parque Nacional Serra do Cipó	Itambé do Mato Dentro, Jaboticatubas, Morro do Pilar e Santana do Riacho	<i>Cerrado</i> (tropical savanna)	26	Almeida et al. (2013)
Parque Estadual Serra do Papagaio	Aiuruoca, Alagoa, Baependi, Itamonte e Pouso Alto.	Mixed Forest and <i>Campos de Altitude</i> (high-altitude shrubby grasslands)	68	Dos Anjos (2017)
Refúgio Estadual da Vida Silvestre do Rio Pandeiros	Bonito de Minas; Cônego Marinho e Januária.	Seasonal Deciduous Forest	48	Souza et al. (2017)
Sucupira Reservoir on the Uberabinha River	Uberlândia	<i>Cerrado</i> (tropical savanna)	43	Barbosa et al. (2019)

**Source:** Elaborated by the authors (2020).

Despite their ecological relevance, studies on the species richness and population distribution of Brazilian Odonata are scarce, even in areas with a significant sampling record, such as the Minas Gerais state (DE MARCO JR; VIANA 2005). Therefore, the objective of this study is to provide data

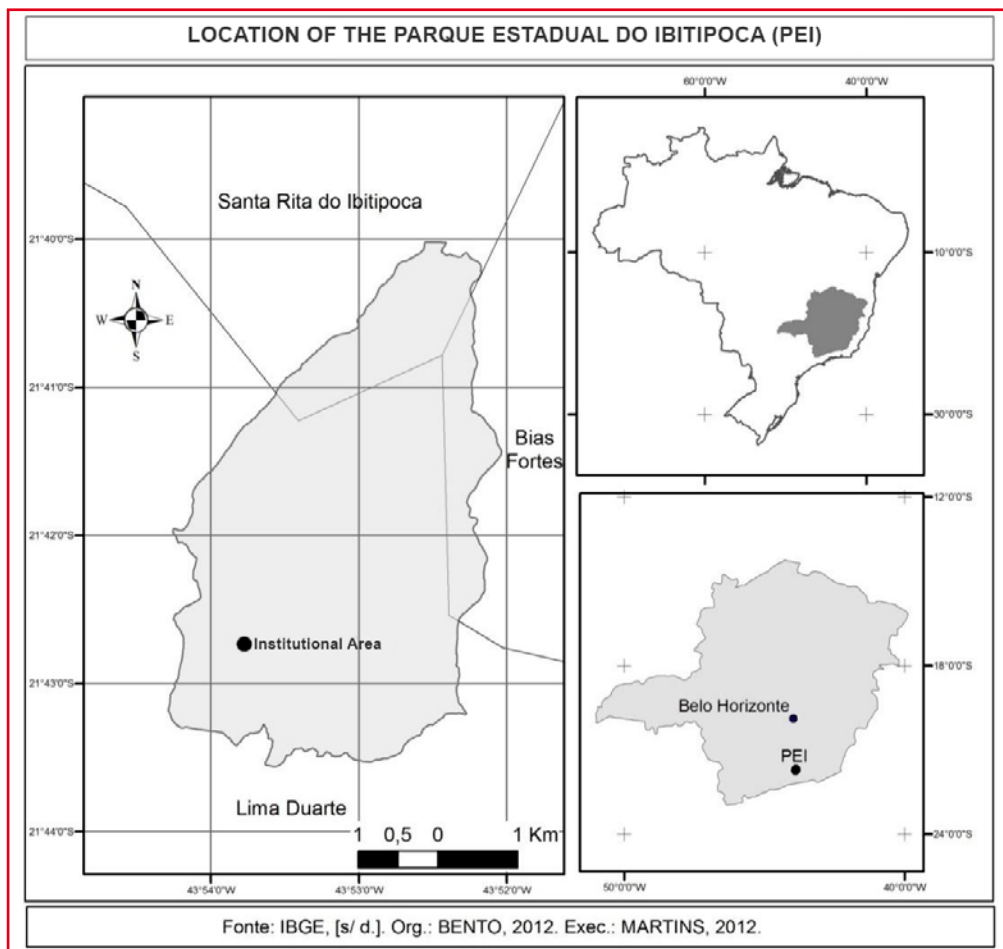
to supply the lack of information on the richness of odonates species for this Conservation Unit, and also for the Minas Gerais state.

## Materials and methods

The study was conducted in Parque Estadual do Ibitipoca (from 21°40' to 21°44'S and 43°52' to 43°54'W), located in Zona da Mata, covering the municipalities of Lima Duarte, Santa Rita do Ibitipoca and Bias Fortes (Figure 1). The Conservation Unit was created in 1973, and is one of the most visited parks in the state of Minas Gerais, as well as one of the widely known in Brazil and one of the main tourist attractions in the region.

It has 1,488 hectares, presenting a mosaic of phytophysionomies (Neto *et al.*, 2007), being predominant the Rocky Fields and *Cerrado de Altitude* (RODELA 1998). The first one is characterized as an ecosystem with occurrence above 900 meters of altitude and is associated mainly with outcrops of quartzite, sandstone and iron ore, with a high rate of endemism and pseudoxeromorphic flora (MENEZES; GIULIETTI 1986). Altitude Fields are typical ecosystems of the mountains at highest points, close to 1,500 m. They occur generally associated with igneous or metamorphic rocks, such as granite and gneiss (VASCONCELOS 2011), and also vegetation adapted to the scarcity of water in the soil.

**Figure 1** – Map of the location of the Parque Estadual do Ibitipoca and its location between the municipalities of Bias Fortes, Lima Duarte and Santa Rita do Ibitipoca.



Source: Adapted from Bento and Rodrigues (2013).



Five collection campaigns were carried out in the Parque Estadual do Ibitipoca, from November 2016 to July 2017, to cover all seasons of the year. Each of the campaigns was composed of four consecutive days, totaling 20 sampling days. The samples were collected daily between 10 AM and 4PM, adding to a total of 120 sample hours. Only adult individuals were collected, captured by an entomological network (SOUZA et al., 2013) with a diameter of about 30 cm.

After the capture, specimens were packed in philatelic envelopes of rigid and transparent vegetable paper (07.0 x 05.0 cm and 11.0 x 07.0 cm), and remained for a few hours until the feces were expelled and the digestive tract cleared. After death, the specimen in the envelope was completely immersed in PA acetone, where it remained for 12 to 16 hours. Acetone dissolves the lipids present in the exoskeleton and assists in the preservation of staining, important in taxonomy (CARVALHO 2007). The material was identified by Dr. Ângelo Parise Pinto, Federal University of Paraná (UFPR) where the specimens are deposited.

In order to evaluate the similarity of the species in the state, Jaccard index was used, based on all the diversity studies carried out in the state, being that of Santos (1966), Ferreira-Peruquetti and De Marco Jr. (2002), Almeida et al. (2013), Souza et al. (2013), Bedê et al. (2015), Amorim (2017), Dos Anjos (2017) e Souza et al. (2017). To evaluate the efficiency of collection, the species estimator Jackknife 1, in the Software R (R Development Core Team 2017) program. In both tests, species identified only up to gender were disregarded. The study was authorized by IEF-MG, license number 070/2016, SISBIO 53414-1.

## Results and Discussion

We recorded 20 Odonata species in Parque Estadual do Ibitipoca. They belonged to 10 genera and seven families, and included a novel record for the state, *Peristicta guarellae* (Anjos-Santos and Pessacq 2013); other four species could only be identified up to the genus level (Table 2).

**Table 2** – Families, species and catalog numbers for Odonata recorded at Parque Estadual do Ibitipoca, Minas Gerais state, Brazil.

Families	Species	Catalog number
Aeshnidae	<i>Castoraeschna januaria</i> (Hagen, 1857)	DZUP 498535
Aeshnidae	<i>Rhionaeschna eduardoi</i> (Machado, 1984)	DZUP 498536
Aeshnidae	<i>Rhionaeschna pauloi</i> Machado, 1984	DZUP 498537 to DZUP 498540
Aeshnidae	<i>Rhionaeschna planaltica</i> (Calvert, 1952)	DZUP 498541 to DZUP 498542
Aeshnidae	<i>Rhionaeschna</i> sp.	DZUP 498543
Gomphidae	<i>Progomphus complicatus</i> Selys, 1854	DZUP 498544
Libellulidae	<i>Erythrodiplax</i> sp.	DZUP 498545
Libellulidae	<i>Macrothemis tenuis</i> (Hagen, 1861)	DZUP 498546
Libellulidae	<i>Pantala flavescens</i> (Fabricius, 1798)	DZUP 498547 to DZUP 498548
Calopterygidae	<i>Hetaerina longipes</i> Hagen in Selys, 1853	DZUP 498549 to DZUP 498565
Coenagrionidae	<i>Argia claussemi</i> Selys, 1865 (Figure 2)	DZUP 498566 to DZUP 498602
Coenagrionidae	<i>Argia sordida</i> Hagen in Selys, 1865	DZUP 498603
Coenagrionidae	<i>Leptagrion</i> cf. <i>bocaiense</i> Santos, 1978	DZUP 498603
Coenagrionidae	<i>Oxyagrion evanescens</i> Calvert, 1909	DZUP 498604
Coenagrionidae	<i>Oxyagrion impunctatum</i> Calvert, 1909	DZUP 498605 to DZUP 498618
Coenagrionidae	<i>Oxyagrion terminale</i> Selys, 1876	DZUP 498619

(Continue...)



**Table 2** – Continuation

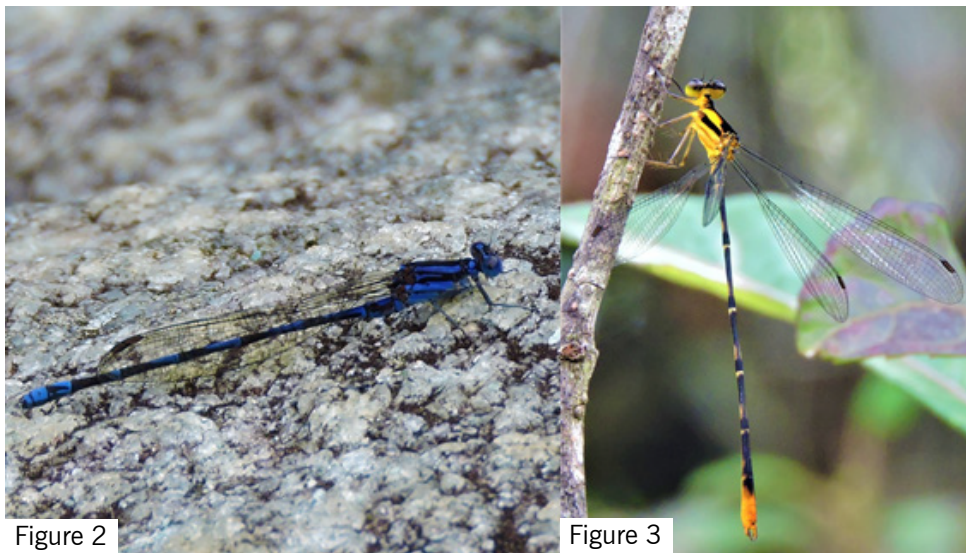
Families	Species	Catalog number
Coenagrionidae	<i>Peristicta guarellae</i> Anjos-Santos and Pessacq, 2013	DZUP 498623 to DZUP 498631
Heteragrionidae	<i>Heteragrion</i> sp A (Figure 3)	DZUP 498620
Heteragrionidae	<i>Heteragrion</i> sp B	DZUP 498621
Megapodagrionidae	<i>Allopodagrion contortum</i> (Hagen in Selys, 1862)	DZUP 498622

**Source:** Elaborated by the authors (2020).

The most representative families regarding number of species were Coenagrionidae (n=7) and Aeshnidae (n=5). The other families presented 3 or less species, being Libellulidae (n=3), Heteragrionidae (n=2), Gomphidae (n=1), Megapodagrionidae (n=1) and Protoneuridae (n=1).

When compared to other studies on Odonata richness, the results of this shows lower species richness (SANTOS 1966, FERREIRA-PERUQUETTI; DE MARCO JR. 2002, ALMEIDA et al., 2013, SOUZA et al., 2013, BEDÊ et al., 2015, AMORIM 2017, DOS ANJOS 2017, RODRIGUES; ROQUE 2017, SOUZA et al., 2017).

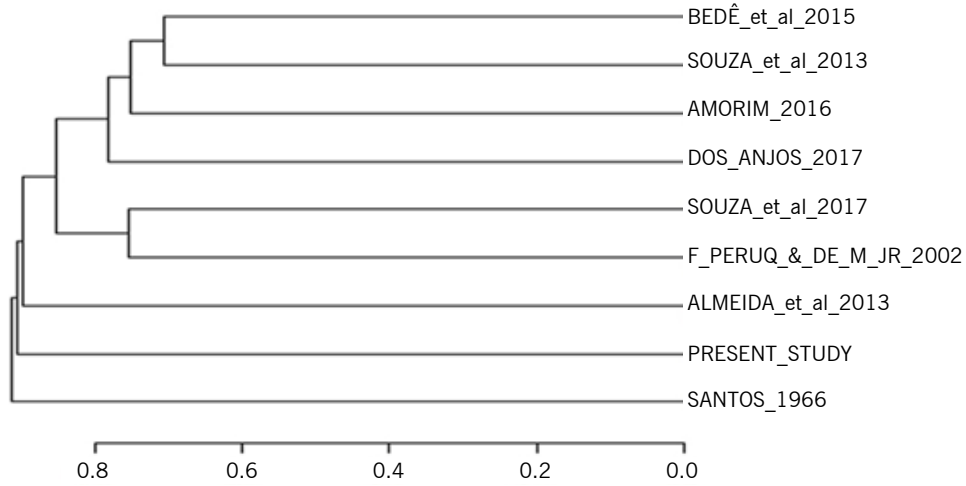
**Figure 2** – *Argia clauseni*. **Figure 3** – *Heteragrion* sp A. Both species collected at Parque Estadual do Ibitipoca, Minas Gerais state, Brazil.



**Source:** Figure 2: Brunismann, A. G (2017). Figure 3: Souza, M. M (2017)

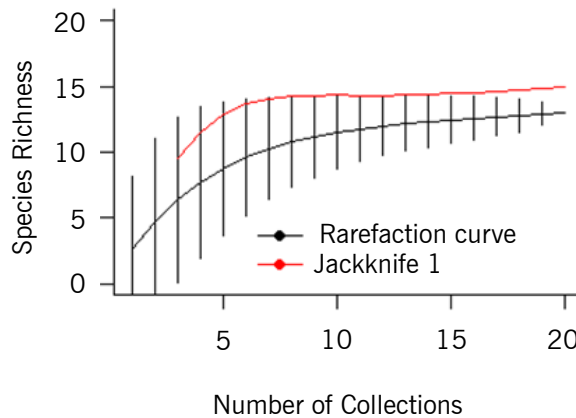
The present study showed highest similarity rates when paired with the Odonata fauna recorded by Almeida et al. (2013). In contrast, the lowest similarity was found when compared to Bedê et al. (2015) (Fig. 4). The sampling effort was deemed satisfactory, with the efficiency measured by the Jackknife 1 species estimator being over than 90% (Fig. 5).

**Figure 4** – Dendrogram generated from Jackard similarity analyzes between the species richness shown for PEI (this study) and other studies on Odonata richness carried out at the Minas Gerais state, Brazil.



**Source:** Elaborated by the authors (2020).

**Figure 5** – Rarefaction Curve of Species for the Odonata species of Parque Estadual do Ibitipoca, Minas Gerais state, Brazil.



**Source:** Elaborated by the authors (2020).

The species *Peristicta guarellae* had only been collected in Atlantic Forest areas before at the Parque Nacional da Serra da Bocaina (Serra da Bocaina National Park), between the Rio de Janeiro and the São Paulo states, and in the municipality of Ponta Grossa, Paraná state (ANJOS-SANTOS; PESSACQ 2013). In this study, a single specimen of that species was collected on March 4th, 2017.

The species *Leptagrion bocainense*, also represented by a single specimen, was recorded on October 12th, 2016. It was previously recorded by Santos (1979) and Costa and Mascarenhas (1998), who collected specimens from the species on Parque Nacional da Serra da Bocaina. In the study area, there were previous records only for nymphs of *L. bocainense*, which are deposited in Dr. Angelo A. B. Machado's private collection (MACHADO 2007).

The high number of Coenagrionidae species is explained by the family's status as the most species-rich in Brazil (PINTO 2016). It is widely distributed and the most species-rich within Zygoptera; it is also where the genus *Oxyagrion*, here represented by four distinct species, is the most representative, with a total 19 species.

The significant representation of Aeshnidae in this study's samples is due to two factors. Firstly, it is a numerous family, a pattern also observed in other studies (BEDÊ et al. 2015, RENNER et al. 2016, 2017), where it always figured among the three most sampled families. Secondly, according to Machado (1998), some of the family's species are abundant in *Campos Rupestres* in high altitudes and with waters with a certain concentration of Iron, both of which can be found in PEI (NUMMER 1991). In the same study, Machado (1998) states having found various individuals belonging to *Castoraeschna januarina* (Hagen 1867) and *Rhionaeschna eduardoi* (Machado 1984) species (also present in this study), hovering over small puddles on mountain areas in Minas Gerais state, near Belo Horizonte city, which have similar conditions to those described above.

The Libellulidae family, which frequently features among the families with higher species richness (BEDÊ et al. 2015, SOUZA et al. 2015a, AMORIM 2016, SOUZA et al. 2017), had only two species recorded in this study. This may be a reflex of the low environmental diversity in the PEI, since different species require distinct ecosystem structures and complexities in order to establish themselves (SOUZA et al., 2015b).

Some individuals could not be identified past genus level; they belong to three different genera and families. *Rhionaeschna* sp1 (Aeshnidae) belongs to the *decessus/serrana* complex. The individual from the *Erythrodiplox* genus (Libellulidae) was identified as a member of the *basaris* group. As for the *Heteragrion* genus (Heteragrionidae), there were recorded two morphospecies that might be new to science; the specimens are currently awaiting description by Dr. Ângelo Parise Pinto, from Universidade Federal do Paraná (UFPR). The presence of *Heteragrion* spp. on the list species indicates that the study area presents a good state of conservation, since species from the Heteragrionidae family react quickly to environmental changes and therefore act as bioindicators (MACHADO 1988, MONTEIRO-JUNIOR et al., 2015).

Three of the species collected in this work are listed in the Red Book of Endangered Fauna: *Castoraeschna januarina*, categorized as Vulnerable (VU) due to the progressive loss of being environment (streams with well-preserved riparian forest). *Rhionaeschna eduardoi*, characteristic of rupestrian field, is categorized as In Danger (EM) due to the progressive fragmentation of its habitat and decrease of the extension of occurrence thanks to the processes of land use, such as agriculture, urbanization and mining. Finally, the *Leptagrion bocainense*, classified as Vulnerable (VU) due to the fragmentation of their habitat, which puts their reproduction at risk as the larvae present phytotelmata habits develop exclusively in the rainwater accumulated in bromeliads.

Six of the species collected are also listed in The IUCN Red List of Threatened Species: *Allopodagrion contortum* (VON ELLENRIEDER, 2009), *Oxyagrion impunctatum* (VON ELLENRIEDER, 2009), *Macrothemis imitans* (PAULSON, 2017), *Progomphus complicatus* (VON ELLENRIEDER, 2009), *Rhionaeschna planaltica* (VON ELLENRIEDER, 2009) and *Pantala flavescens* (BOUDOT et al., 2016), all categorized as Least Concern (LC). The others registered species have a wide distribution in the state of Minas Gerais, occurring in different ecosystems (SOUZA et al., 2013; BEDÊ et al., 2015; AMORIM et al., 2018).

The low species richness found in PEI may be a result from sampling exclusively in lotic environments, since lentic systems such as pools and ponds could not be found in the area. This results in a decrease of ecosystem heterogeneity in study areas, negatively impacting Odonata species richness, as shown by Souza et al. (2015b). Furthermore, many species, genera and whole families exclusively require lentic environments for their reproduction habits and as nymph habitats (CARVALHO; NESSIMIAN, 1998).

The high similarity between this study and Almeida et al. (2013), who recorded 26 species in Parque Nacional do Cipó, is probably due to both studies being carried out in similar phytophysionomies, with a predominance of Rocky Field and of lotic over lentic systems; therefore, both studies show an absence of species from lentic-exclusive families.

The differences between this study's results and the those published by Bedê et al. (2015) may be due to the latter's data collection being carried out at Refúgio da Vida Silvestre Para Proteção das Libélulas, an area with different associated phytophysionomies such as Rocky Field, Seasonal Semi-deciduous Forests and *Cerrado*, and also by the presence of both lentic and lotic ecosystems, making up a more heterogeneous area and favoring a higher species richness than the one found in PEI. In addition, the sampling effort employed by Bedê et al. (2015) was significantly higher than the ones from this study, with more than five years of samples.

The high sampling efficiency reflected the similarity of the sampling sites, which were mostly lotic systems associated to Campos Rupestres; the same efficiency was not found in studies with more diverse ecosystems (SOUZA et al., 2013, BEDÊ et al., 2015). The PEI's relatively smaller area also played a part on that efficiency since it allowed sampling to be carried out throughout its whole extension and with many repetitions.

## Conclusion

Despite its low species richness, the Parque Estadual do Ibitipoca hosts a new species for the Minas Gerais state and may even include two whole new species of the *Heteragrion* genus (Heteragrionidae). The area has thus been shown relevant for the state's Odonata fauna and highlights the importance of this Conservation Unit for the biota.

## Acknowledgement

The authors would like to thank the Instituto Estadual de Florestas, SISBIO and the PEI's administration and staff for granting them access to the area; to IFSULDEMINAS – Campus Inconfidentes for transportation; to Dr. Mateus Clemente for his help with statistical analyzes; to the undergraduates who contributed in data collection. To Angela G. Brunismann for her help with the layout. To Frederico A. A. Lencioni for his consultation regarding species identification and for Dr. Ângelo Parise Pinto from the Universidade Federal do Paraná for the taxonomic species identification.

## Riqueza de espécies de Odonata (Insecta) no Parque Estadual do Ibitipoca, Sudeste do Brasil

### Resumo

Existem poucos estudos sobre as comunidades de Odonata no Brasil, mesmo nos estados mais estudados, como Minas Gerais. Dessa maneira, propõe-se a apresentação de resultados sobre a riqueza de espécies de Odonata do Parque Estadual do Ibitipoca, localizado na Zona da Mata de Minas Gerais, Brasil. Esta Unidade de Conservação é considerada área prioritária para a conservação dos invertebrados do estado. O objetivo deste estudo foi conhecer o número de espécies existentes na área. Foram realizadas 100 horas de amostragem, distribuídas em cinco campanhas em quatro dias

consecutivos entre novembro de 2016 e julho de 2017. Foram registradas 20 espécies diferentes, incluindo um novo registro para o estado e uma potencial nova espécie. A riqueza de espécies foi baixa devido à amostragem ser focada exclusivamente em sistemas lóticos e também devido à homogeneidade do ambiente. Apesar do baixo número de espécies, o Parque Estadual do Ibitipoca é relevante para a conservação das Odonatas de Minas Gerais.

**Palavras-chave:** Campo Rupestre. Checklist. Libélula. Minas Gerais. Unidade de conservação.

## References

- ALMEIDA, M. V. O. D.; PINTO, Â. P.; CARVALHO, A. D. L.; TAKIYA, D. M. When rare is just a matter of sampling: unexpected dominance of clubtail dragonflies (Odonata, Gomphidae) through different collecting methods at Parque Nacional da Serra do Cipó, Minas Gerais State, Brazil. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 57, n. 4, p. 417-423, 2013.
- AMORIM, M. S.; SOUZA M. M. de.; ANJOS, C. S. dos. Riqueza de libélulas (Insecta: Odonata) no município de Bueno Brandão, Sul de Minas Gerais. **MG Biota**, v. 11, p. 16 – 32, 2018.
- ANJOS-SANTOS, D.; PESSACQ, P. *Peristicta guarellae* sp. nov. from Brazil (Odonata: Protoneuridae). **International journal of odonatology**, v. 16, n. 4, p. 293-299, 2013.
- BARBOSA, M. S.; BORGES, L. R.; VILELA, D. S.; VENÂNCIO, H.; SANTOS, J. C. Odonate Communities of the Sucupira Reservoir, Rio Uberabinha, Minas Gerais, Brazil. **Papéis Avulsos de Zoologia**, v. 59, 2019.
- BEDÊ, L. C.; MACHADO, A. B. M.; PIPER, W.; SOUZA, M. M. Odonata of the Serra de São José – Brazil's first Wildlife Reserve aimed at the conservation of dragonflies. **Notulae odonatologicae**, v. 8, n. 5, p. 117-155, 2015.
- BENTO, L. C. M.; RODRIGUES, S. C. Aspectos geológico-geomorfológicos do Parque Estadual do Ibitipoca/MG: base para o entendimento do seu geopatrimônio. **Sociedade & Natureza**, v. 25, n. 2, p. 379-393, 2013.
- BORGES, L. R.; BARBOSA, M. S.; CARNEIRO, M. A. A.; VILELA, D. S.; SANTOS, J. C. Dragonflies and damselflies (Insecta: Odonata) from a Cerrado area at Triângulo Mineiro, Minas Gerais, Brazil. **Biota Neotropica**, v. 19, n. 1, 2019.
- BOUDOT, J. P.; CLAUSNITZER, V.; SAMRAOUI, B.; SUHLING, F.; DIJKSTRA, K. D. B.; SCHNEIDER, W.; PAULSON, D. R. *Pantala flavescens*. **The IUCN Red List of Threatened Species**. 2016: Available in: <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-3.RLTS.T59971A65818523.en>. Accessed on: 07 June 2019.
- BULÁNKOVÁ, E. Dragonflies (Odonata) as bioindicators. **Biologia, Bratislava**, v. 52, n. 2, p. 177-180, 1997.
- CARVALHO, A. L. Recomendações para a coleta, criação e colecionamento de larvas de Odonata. **Arquivos do Museu Nacional, Rio de Janeiro**, v. 65, n. 1, p. 3-15, 2007.
- CARVALHO, A. L.; MESSIMIAN, J. L. Odonata do Estado do Rio de Janeiro, Brasil: habitats e hábitos das larvas. **Oecologia brasiliensis**, v. 5, n. 1, p. 1, 1998.

CLARK, T. E.; SAMWAYS, M. J. Dragonflies (Odonata) as indicators of biotope quality in the Kruger National Park, South Africa. **Journal of applied ecology**, p. 1001-1012, 1996.

COSTA, J. M.; MASCARENHAS, B. J. A. Catálogo do material-tipo de Odonata (Insecta) do Museu Nacional. **Museu Nacional**, 1998.

DOS-ANJOS, C. S. **Riqueza da Odonatofauna (Insecta) em floresta mista no estado de Minas Gerais, Brasil**. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Ciências Biológicas) – Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Sul de Minas Gerais. 26 f. 2017.

DRUMMOND, G. M.; MARTINS, C. S.; MACHADO, A. M.; SEBAIO, F. A.; ANTONINI, Y. O. Biodiversidade em Minas Gerais: um atlas para sua conservação. **Belo Horizonte: Fundação Biodiversitas**, v. 2, 2005.

DUTRA, S.; MARCO, P. de. Bionomic differences in odonates and their influence on the efficiency of indicator species of environmental quality. **Ecological Indicators**, v. 49, p. 132-142, 2015.

FERREIRA-PERUQUETTI, P.; MARCO, J. R, P. de. Efeito da alteração ambiental sobre comunidades de Odonata em riachos de Mata Atlântica de Minas Gerais, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 19, n. 2, p. 317-327, 2002.

KALKMAN, V. J.; CLAUSNITZER, V.; DIJKSTRA, K. D. B.; ORR, A. G.; PAULSON, D. R.; VAN TOL, J. Global diversity of dragonflies (Odonata) in freshwater. In: **Freshwater animal diversity assessment**. Springer, Dordrecht, 2007. p. 351-363.

MACHADO, A. B. M.; DRUMMOND, G. M.; PAGLIA, A. P. Livro vermelho da fauna brasileira ameaçada de extinção. In: **Livro vermelho da fauna brasileira ameaçada de extinção**. 2008.

MACHADO, A. B. M. *Heteragrion petiense* spec. nov., from the state of Minas Gerais, Brazil (Zygoptera: Megapodagrionidae). **Odonatologica**, v. 17, n. 3, p. 267-274, 1988.

MACHADO, A. B. M. Insetos. In: MACHADO, A. B. M.; FONSECA, G. A. B.; MACHADO, R. B.; AGUIAR, L. M. S.; LINS, L.V. (Eds), Livro Vermelho das Espécies Ameaçadas de Extinção da Fauna de Minas Gerais. **Fundação Biodiversitas**, Belo Horizonte p. 495-497, 1998.

MACHADO, A. B. M. *Leptagrion afonsoi* sp. n., from the state of Minas Gerais, Brazil (Odonata: Coenagrionidae). **Lundiana**, v. 7, p. 125-126, 2007.

MARCO, P. de; VIANNA, D. M. Distribuição do esforço de coleta de Odonata no Brasil: subsídios para escolha de áreas prioritárias para levantamentos faunísticos. **Lundiana**, v. 6, n. 1, p. 13-26, 2005.

MENDES, T. P.; OLIVEIRA-JUNIOR, J. M. B.; CABETTE, H. S. R.; BATISTA, J. D.; JUEN, L. Congruence and the biomonitoring of aquatic ecosystems: are Odonate larvae or adults the most effective for the evaluation of impacts. **Neotropical entomology**, v. 46, n. 6, p. 631-641, 2017.

MENEZES, N. L.; GIULIETE, A. M. Campos Rupestres. In: MENDONÇA, P. M.; LINS, L.V. **Lista Vermelha das espécies ameaçadas de extinção da flora de Minas Gerais**. Belo Horizonte. Fundação Biodiversitas, p. 65 -73, 1986.



MENINI-NETO, L.; ALVES, R. J. V.; BARROS, F.; FORZZA, R. C. Orchidaceae do Parque Estadual de Ibitipoca, MG, Brasil. **Acta bot. bras**, v. 21, n. 3, p. 687-696, 2007.

MIGUEL, T. B.; OLIVEIRA-JUNIOR, J. M. B.; LIGEIRO, R.; JUEN, L. Odonata (Insecta) as a tool for the biomonitoring of environmental quality. **Ecological Indicators**, v. 81, p. 555-566, 2017.

MONTEIRO-JUNIOR, C. S.; JUEN, L.; HAMADA, N. Analysis of urban impacts on aquatic habitats in the central Amazon basin: adult odonates as bioindicators of environmental quality. **Ecological Indicators**, v. 48, p. 303-311, 2015.

MOURÃO, A.; STEHMANN, J. R. Levantamento da flora do campo rupestre sobre canga hematítica couraçada remanescente na Mina do Brucutu, Barão de Cocais, Minas Gerais, Brasil. **Rodriguésia**, v. 58, n. 4, p. 775-785, 2007.

NUMMER, A. R. **Análise Estrutural e Estratigráfica do Grupo Andrelândia na região de Santa Rita do Ibitipoca-Lima Duarte, sul de Minas Gerais**. 1992. Tese de Doutorado. Dissertação de Mestrado-IG/UFRJ (inédito). 191p.

PAULSON, D. R. 2017. **Macrothemis imitans**. **The IUCN Red List of Threatened Species 2017**: Available in: <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2017-3.RLTS.T49254238A49255945.en>. Accessed on: 07 June 2019.

PINTO, A. P. **Odonata in Catálogo Taxonômico da Fauna do Brasil**. PNUD. 2019. Available in: <http://fauna.jbrj.gov.br/fauna/faunadobrasil/171>>. Accessed on: June 7, 2019.

RAFAEL, J. A.; MELO, G.A.R.; CARVALHO, C. J. B. de.; CASARI, S.A.; CONSTANTINO, R. (Eds.). **Insetos do Brasil: Diversidade e Taxonomia**. Ribeirão Preto. Holos Editora, 2012. 810 p.

RAMÍREZ, A. Odonata. **Revista de Biologia Tropical**, v. 58, p. 97-136, 2010.

RENNER, S.; PÉRICO, E.; SAHLÉN, G. List of Odonates from the Floresta Nacional de São Francisco de Paula (FLONA-SFP), with two new distribution records for Rio Grande do Sul, Brazil. **Biota Neotropica**, v. 16, n. 3, 2016.

RENNER, S.; PÉRICO, E.; ELY, G. J.; SAHLÉN, G. Preliminary dragonfly (Odonata) species list from the Pampa biome in Rio Grande do Sul, Brazil, with ecological notes for 19 new records for the State. **Biota Neotropica**, v. 17, n. 4, 2017.

RODELA, L. G. Cerrados de altitude e campos rupestres do Parque Estadual do Ibitipoca, sudeste de Minas Gerais: distribuição e florística por subfisionomias da vegetação. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 12, p. 163-189, 1998.

RODRIGUES, M. E.; ROQUE, F. O. Checklist de Odonata do estado de Mato Grosso do Sul, Brasil. **Iheringia Série Zoologia**, v. 107, Supl., 2017.

SANTOS, N. D. Odonatos da região de Poços de Caldas, Minas Gerais. **Atas da Sociedade de Biologia do Rio de Janeiro**, v. 10, p. 65-69, 1966.



SANTOS, N. D. Descrição de *Leptagrion bocainense* Santos, 1978 cenagrionideo bromelícola (Odonata, Coenagrionidae). **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v. 8, n. 1, p. 167-173, 1979.

SOUZA, A. M.; FOGAÇA, F. N. O.; CUNICO, A.M.; HIGUTI, J. Does the habitat structure control the distribution and diversity of the Odonatofauna? **Brazilian Journal of Biology**, v. 75, n. 3, p. 598-606, 2015.

SOUZA, M. M.; PIRES, E. P.; BRUNISMANN, Â. G.; PINTO, Â. P. List of Odonates from Mata do Baú, Barroso, Minas Gerais, Brazil. **Check List**, v. 9, n. 6, p. 1367-1370, 2013.

SOUZA, M. M.; SOUZA, B.; AGUIAR PEREIRA, M. C. S. de; MACHADO, A. B. M. List of Odonates from Mata do Baú, Barroso, Minas Gerais, Brazil. **Check List**, v. 9, n. 6, p. 1367-1370, 2013.

SOUZA, M. M.; PIRES, E. P.; EUGÊNIO, R.; SILVA-FILHO, R. New occurrences of social wasps (Hymenoptera: Vespidae) in semideciduous seasonal montane forest and tropical dry forest in Minas Gerais and in the atlantic forest in the State of Rio de Janeiro. **EntomoBrasilis**, v. 8, n. 1, p. 65-68, 2015.

SOUZA, M. M.; PIRES, E. P.; BRUNISMANN, A. G.; MILANI, L. R.; PINTO, A. P. Dragonflies and damselflies (Odonata) from the wetland of the Rio Pandeiros, northern region of Minas Gerais State, Brazil, with a description of the male of *Archaeogomphus vanbrinki* Machado (Anisoptera: Gomphidae). **International Journal of Odonatology**, v. 20, n. 1, p. 13-26, 2017.

VASCONCELOS, M. F. O que são campos rupestres e campos de altitude nos topos de montanha do Leste do Brasil?. **Brazilian Journal of Botany**, v. 34, n. 2, p. 241-246, 2011.

VON ELLENRIEDER, N. *Allopodagrion contortum*. **The IUCN Red List of Threatened Species**. 2009: Available In: <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2009-2.RLTS.T158890A5288147.en>. Accessed on: 07 June 2019.

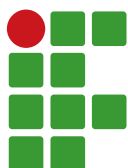
VON ELLENRIEDER, N. *Oxyagrion impunctatum*. **The IUCN Red List of Threatened Species**. 2009: Available In: <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2009-2.RLTS.T158890A5288147.en>. Accessed on: 07 June 2019.

VON ELLENRIEDER, N. *Progomphus complicatus*. **The IUCN Red List of Threatened Species**. 2009: Available In: <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2009-2.RLTS.T158890A5288147.en>. Accessed on: 07 June 2019.

VON ELLENRIEDER, N. *Rhionaeschna planaltica*. **The IUCN Red List of Threatened Species**. 2009: Available In: <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2009-2.RLTS.T158890A5288147.en>. Accessed on: 07 June 2019.

**Received:** September 1st, 2019

**Accepted:** April 16, 2020



# Quality of white Gurgutuba creole beans stored in silo bags and PET bottles

Valter Barbosa Magalhães<sup>1</sup>

Adalberto Hipólito de Sousa<sup>2</sup>

## Abstract

Hermetic storage in silo bag has provided a viable alternative for farms. This study evaluates the use of silo bags as an alternative for storing creole beans. The experiment was conducted in the UFAC seed laboratory. The beans were stored in silo bags for 30, 60, 90 and 120 days or in PET bottles, which is the common practice. In the control treatment, PET bottles sealed with organza fabric were used. The experimental model was factorial CRD with subdivided plots and four replications, with the plots being storage conditions; and sub-plots, storage periods. The degree of infestation, moisture content, apparent specific mass, germination percentage and electrical conductivity were evaluated at 30 - day intervals. There was significant variation ( $p < 0.05$ ) between storage types *Zabrotes subfasciatus* (Boheman) and *Acanthoscelides obtectus* (Say) (Coleoptera: Chrysomelidae, Bruchinae), then infestations occurred. Infestation using these bruchids was  $< 7\%$  in the beans stored in the silo bag and PET bottle. For the control treatment, the degree of infestation was slightly higher ( $p < 0.05$ ) with rates of  $> 90\%$  after 120 days. The moisture content, specific mass, germination, and electrical conductivity of the beans stored in the silo bag and PET bottle preserved the characteristics analyzed over the 120-day period with the exception of control treatment. Storage in silo bags is an effective alternative for controlling infestation and maintaining quality, in terms of moisture content, specific mass, germination, and electrical conductivity, for up to 120 days.

**Keywords:** *Phaseolus vulgaris* L. Modified atmosphere. Hermetic. Infestation.

## Introduction

Creole bean genotypes are defined as those that have been generated via natural crossings and that have not undergone any genetic improvement process (ELIAS et al., 2007).

The white Gurgutuba bean variety belongs to the species *Phaseolus vulgaris* L., cultivated in dry land areas. It has an indeterminate climber growth habit, with prostrate habit and a tendency to wrap around the support (MATTAR et al., 2016). Usually, these creole varieties are stored on small and medium-sized farms.

With increase in grain and bean productivity in Brazil, the storage of these products presents a systematic deficit in their static storage capacity, thus contributing to significant losses in profitability for farmers (WACHTER; PEREIRA, 2015). The use of new technologies and loss prevention techniques help maintain food stocks (DE LIMA JUNIOR et al., 2012).

1 Universidade Federal do Acre (UFAC). Mestrando em Agronomia/Produção Vegetal. [valterbarbosa68@gmail.com](mailto:valterbarbosa68@gmail.com), Rua 4, n. 318, Bairro Tucumã. 69191-805.

2 UFAC. Professor Titular, área de atuação Manejo Integrado de Pragas/ Agronomia. [adalbertohipolito@hotmail.com](mailto:adalbertohipolito@hotmail.com).

In Brazil, the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is one of the main primary foods consumed, national production is one of the largest on the planet. The demand from the Brazilian market is considerable, requiring an annual production of 3.0 million tons. However, it is estimated that Brazilian production of the common bean is currently only at 25% of its potential (WANDER et al., 2014).

When it comes to losses in grain/bean production, staple foods for the world's population, factors related to storage, in addition to factors in the field, must be considered.

One of the basic aims of storage is maintaining the characteristics of the grain/beans for a specific time period, thus preserving the quality of the product. Another factor that leads to storage of grain/beans is their market price (LIMA JUNIOR et al., 2012). A considerable amount of Brazil's grain/bean production is stored in metal or brick (bulk) silos before being sold; however, extended periods in storage can lead to loss of quality of the product (SANTOS; CHAVAGLIA, 2017). The indiscriminate application of pesticides during storage can result in environmental damage, with serious long-term consequences that are often irreversible (BOHNER et al., 2013).

The demand for ecologically generated products is high, and increases every year. Yet, organic production requires the producer to have considerable knowledge of cultivation techniques, as well as the use of varieties with high productivity, which, in turn, requires adequate storage (SOARES JUNIOR et al., 2015). In addition to production, it is essential to store the product correctly to minimize losses of grain/beans, as well as financial and logistical losses (BARONI et al., 2017). The use of the silo bag, a technique in which the product is hermetically stored in sealed plastic bags, provides an alternative to traditional methods for storing grain/beans on farms (COSTA et al., 2010).

It is a mobile system with the bags horizontally stored. The bags are composed of low-density polyethylene, co-extruded in three layers, with a thickness of 0,00025 m and a capacity between 60 and 180 tons. The bags are 1,50, 1,80 or 2,70 m, and 60 m in length (MARCHER BRASIL, 2020). The mobility, low investment cost, space optimization, and easy handling of this system make it a good storage option for small and medium-sized producers.

Considering the above, this study aims to evaluate the quality of white Gurgutuba creole bean seeds stored in silo bags compared to other types of storage.

## Materials and methods

The experiment was conducted at the Integrated Pest Management Laboratory of the Postgraduate Course in Plant Production of the Federal University of Acre – Rio Branco campus in Rio Branco/AC, Brazil. Seeds of the Gurgutuba white creole bean variety were directly acquired from the producer in Cruzeiro do Sul – AC, coordinates E-792598.00 N-9141665.21, Zone 18M, from the 2017 harvest. Tests were then conducted to determine the degree of infestation, moisture content, specific mass, germination, and electrical conductivity, for initial characterization of the beans (Table 1).

**Table 1** – Initial characterization of the beans (*Phaseolus vulgaris* L.).

Bean characteristics	Variety
	Gurgutuba white
Insect-pest infestation (%)	3.67
Moisture content (% wet basis)	11.12

(continue...)

**Table 1** – Continuation

Bean characteristics	Variety
	Gurgutuba white
Apparent specific mass (kg m <sup>-3</sup> )	662.70
Percentage of germination (%)	66.25
Electrical conductivity (μS cm <sup>-1</sup> g <sup>-1</sup> )	70.38

**Source:** Elaboration of the authors (2019)

After the initial characterization, the beans were packaged in polyethylene silo bags and polyethylene terephthalate (PET) bottles. The bags had a capacity of 0,5 kg (0,3 × 0,2 m rectangular packs) with 0,00025 m thick plastic, comprising three layers; black on the inside and white on the outside, with UV stabilizers, and sealed using a multipurpose sealing machine (0,4 m hot bar). The PET bottles were properly sealed using a screw cap. The plastic bottles were reused, and were transparent, with a capacity of 0.6 L and a thickness of 0,00027 m. In terms of the control treatment, they were sealed with organza fabric, to allow the exchange of gases between the inner ecosystem of the bottles and the external environment. The experiment was then conducted in a controlled environment for 30, 60, 90, and 120 days, at a temperature of  $25 \pm 1.5^\circ\text{C}$ , and relative humidity of  $76\% \pm 12.5\%$ . The evaluations were then conducted every 30 days.

To evaluate the degree of infestation, two samples of 100 creole bean seeds, selected randomly, were immersed in water for 24 h. After this period, the beans were removed from water and dried on paper towels, cut, and individually examined. The beans were considered to be infested as per the protocol described in the Rules of Seed Analysis – RAS (BRAZIL, 2009).

To determine the moisture content of the beans, 30.0 g in triplicate were used for each one of the four repetitions. These samples were placed in a greenhouse, with forced air convection and heating was regulated at  $105 \pm 3^\circ\text{C}$  for 24 h. After this period, the samples were weighed using an analytical balance, with a precision of 0.01 g. The routine described in Regras de Análises de Sementes [Rules of Seed Analysis] – RAS (BRAZIL, 2009) was adopted.

The apparent specific mass was determined using a hectoliter scale with capacity of 250.0 ml. Triplicate readings were performed for each sample, and the simple mean of the three was selected. As the hectoliter weight of a sample varies as per its moisture content, the determinations were simultaneously performed (BRAZIL, 2009).

The percentage of germination was measured using eight repetitions of 50 beans each, placed on two sheets of standard paper substrate, previously moistened with distilled water at a proportion of 2.5 times the weight of the paper, and then covered by another sheet of the same moistened paper, and wrapped into rolls. The rolls were horizontally placed into the germinator, and maintained at a temperature of  $25 \pm 1^\circ\text{C}$ . The count was performed at the end of the ninth day, after sowing with the protrusion of the integument considered as indicative of germination, a protocol described in the Regras de Análises de Sementes – RAS (BRAZIL, 2009).

For the variable electrical conductivity of the solution, three repetitions of 50 beans were randomly selected from each treatment. The beans were weighed on a scale with a precision of 0.01 g, and placed in plastic cups with a capacity of 200 ml, to which 75 ml of distilled water was added. The cups were then placed in a BOD climate chamber at  $25^\circ\text{C}$  for 24 h. After this period, they were removed from the chamber; therefore, the electrical conductivity of the solution containing the beans

could be measured using a bench conductivity meter. The electrical conductivity value ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ ) provided by the properly calibrated apparatus was divided by the total mass of the beans to obtain the value, expressed as  $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$  of total mass (VIEIRA; CARVALHO, 1994)

Was used in factorial a scheme of subdivided plots with four replications. The plots represented the storage conditions (silo bag, PET bottle, and control) and the subplots, i.e., the five storage periods (0, 30, 60, 90, and 120 days). The data were submitted for verifying the normality of the residuals (Shapiro; Wilk, 1965) and homogeneity of the variances (COCHRAN, 1957). The normality of residuals and the homogeneity of variances having been observed, the analysis of variance (F test) was performed at a 5% level of probability.

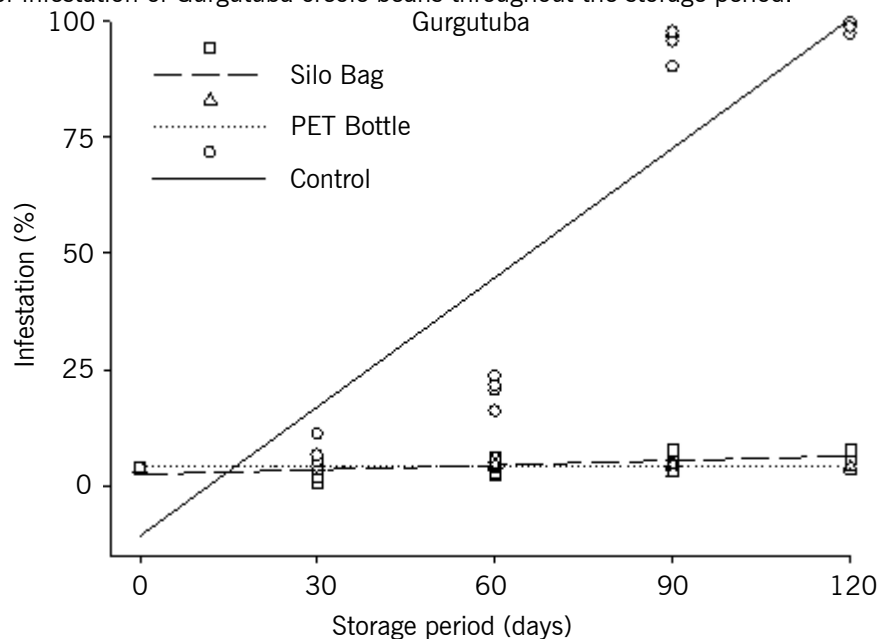
The storage conditions were then compared using Tukey's test at a 5% probability. Data on moisture content, apparent specific mass, electrical conductivity, germination percentage, and degree of infestation were submitted to analysis using *SISVAR* version 5.6 (FERREIRA, 2014). For significant interactions, regression analyses were performed as a function of time using *SigmaPlot*® (SPSS, 2006).

## Results and discussion

It was possible to identify the presence of *Zabrotes subfasciatus* (Boheman) and *Acanthoscelides obtectus* (Say) (Coleoptera: Chrysomelidae, Bruchinae) in the beans. These species present primary feeding habits and are of recognized economic significance (Faroni; Sousa, 2006). The degree of insect pest infestation in the creole bean seeds significantly varied during storage ( $F_{4,36} = 1667.41$ ;  $p \leq 0.01$ ) and between the systems ( $F_{2,36} = 1777.50$ ;  $p \leq 0.01$ ), and there was interaction ( $F_{8,36} = 1512.30$ ;  $p \leq 0.01$ ) at the end of the 120-day period.

The results of infestation by *Z. subfasciatus* and *A. obtectus* in the beans of the Creole bean during the storage period are shown in Figure 1 and Table 2. Were adjusted to regression models only for the characteristics that showed significant variation with the storage period. Characteristics that did not showed significant variation were represented using their mean values.

**Figure 1** – Degree of infestation of Gurgutuba creole beans throughout the storage period.



Source: Elaboration of the authors (2019).

**Table 2** – Mathematical models used to represent the values throughout storage in each storage system.

Variable	Storage	Fitted Equations	g.l.error	F	P	R <sup>2</sup>
Degree of Infestation	Silo bag	$\hat{y} = 2.4520 + 0.0330x$	18	20.56	0.0003	0.53
	PET bottle	$\hat{y} = 4.13$	-	-	-	-
	Control	$\hat{y} = 10.7730 + 0.9264x$	18	96.71	< 0.0001	0.83
Moisture Content	Silo bag	$\hat{y} = 11.67$	-	-	-	-
	PET bottle	$\hat{y} = 11.43$	-	-	-	-
	Control	$\hat{y} = 10.4815 + 0.0589x$	18	92.51	< 0.0001	0.83
Apparent Specific Mass	Silo bag	$\hat{y} = 666.14$	-	-	-	-
	PET bottle	$\hat{y} = 656.8640 + 0.1531x$	18	23.63	0.0001	0.56
	Control	$\hat{y} = 676.3025 - 0.6127x$	18	35.93	< 0.0001	0.66
Percentage of Germination	Silo bag	$\hat{y} = 60.3750 - 0.2600x$	18	72.13	< 0.0001	0.80
	PET bottle	$\hat{y} = 62.1750 - 0.2821x$	18	207.64	< 0.0001	0.92
	Control	$\hat{y} = 65.6375 - 0.5933x$	18	480.32	< 0.0001	0.96
Electrical Conductivity	Silo bag	$\hat{y} = 68.1440 + 0.1571x$	18	11.29	0.0035	0.38
	PET bottle	$\hat{y} = 68.3690 + 0.1317x$	18	89.08	< 0.0001	0.83
	Control	$\hat{y} = 53.4455 + 0.8253x$	18	51.09	< 0.0001	0.73

**Source:** Elaboration of the authors (2019).

The infestation degree in the beans stored in silo bags was significant ( $p \leq 0.05$ ) (Table 2); however, it was constant during all storage periods, and did not sufficiently increase to cause a marked depreciation of the product, except for the control treatment (Figure 1). In the same figure, the linear model satisfactorily represents the experimental values, thus being significant at 1% probability according to the Tukey test, with acceptable values in the literature for the coefficient of determination ( $R^2$ ). Storage type x storage period interaction occurred with the beans stored in silo bags and PET bottles presenting the lowest infestation rate.

The differences observed are related to genotypic characteristics (COELHO et al., 2010) or to the occurrence of cross-infestation (BRAGANTINI, 2005). In this study, the results obtained corroborate the understanding of Rodriguez et al. (2019), who described the hermetic environment in silo bags as a cause of  $O_2$  reduction and  $CO_2$  increase, thus discouraging insect reproduction. Under airtight conditions, the oxygen level sharply decreased, primarily because of respiration of the beans (NAVARRO, 2012a; 2012b; NJOROGÉ et al., 2014). As the level of carbon dioxide increased, the insects stop feeding and eventually died from asphyxiation or desiccation (NJOROGÉ et al., 2014). The occurrence of *A. obtectus* and *Z. subfasciatus* weevils may be associated with cross-infestation; moreover, when the infestation occurred, the product loses quality. Furthermore, there may be a decrease in the percentage of germination and vigor among other losses (SILVA et al., 2013). According to Freitas (2009), the storage of grains in silo bags presents clear results and emerges as a viable alternative in the control of pest insects. However, under non-hermetic storage conditions, infestation rates exponentially grow during storage. For certifying beans, up to 3% infestation is tolerated by the Ministry of Agriculture, Livestock and Food Supply (MAPA, 2013). The results obtained for the tested variety extrapolates to the parameters set using MAPA.

Figure 2 and Table 2 show the results for moisture content for the beans of the white Gurgutuba variety. The moisture content of the creole beans significantly varied throughout the storage ( $F_{4,36} = 108.93$ ;  $p \leq 0.01$ ) and between systems ( $F_{2,36} = 584.11$ ;  $p \leq 0.01$ ); and there was also interaction ( $F_{8,36} = 121.06$ ;  $p \leq 0.01$ ) as per the variance analysis summary.

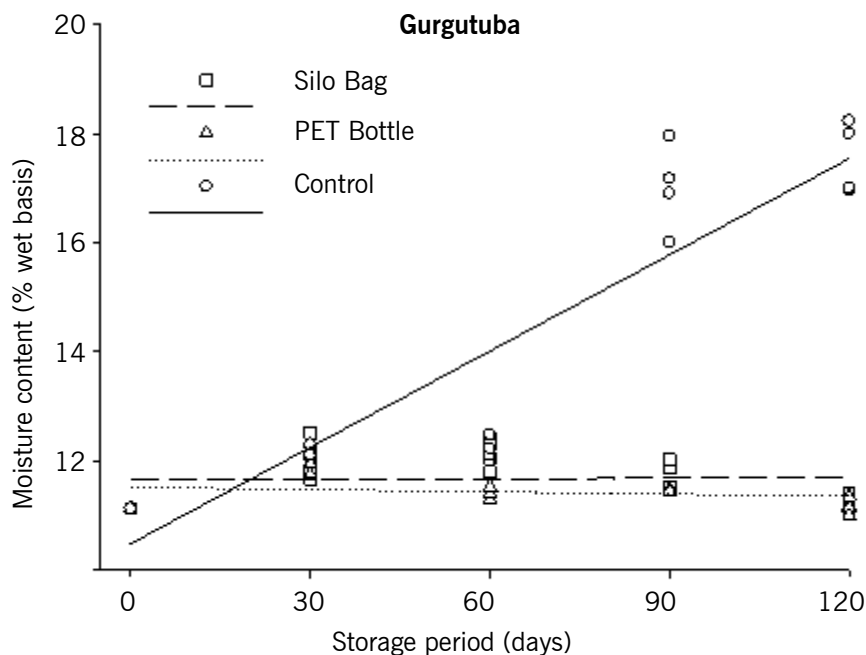
The data were adjusted for regression models only for the characteristics that showed significant variation with the storage period.

The moisture content of the beans did not significantly vary ( $p \geq 0.05$ ) over the 120 days of storage in the silo bag and PET bottle treatments, unlike the control treatment, which presented a greater increase ( $p \leq 0.05$ ) than the other treatments (Figure 2).

Throughout the storage period, the moisture content of the beans stored in silo bags and PET bottles remained constant. The linear model used adequately represents the experimental values and remained significant at 1% probability according to the Tukey test and presenting a significant value for the coefficient of determination ( $R^2$ ). There was interaction between the type and period of storage. Moreover, there was no significant difference between the silo bag and PET bottle treatments at the end of the 120-day period; however, they statistically differed ( $p \leq 0.05$ ) from the control treatment.

Schneider et al. (2014), working with the common bean, observed that storing beans in impermeable packaging for 120 days in a controlled environment preserved their physiological and sanitary quality. The results obtained corroborate those reported by da Costa et al. (2010), who observed that there was no increase in the moisture content of hermetically stored corn grains. The effect of hermetic storage on grains is corroborated by the study with triple-layer plastic packaging (MUTUNGI et al., 2015), with similar results to this study being obtained.

**Figure 2** – Moisture content of Gurgutuba creole beans throughout the storage period.



**Source:** Elaboration of the authors (2019).

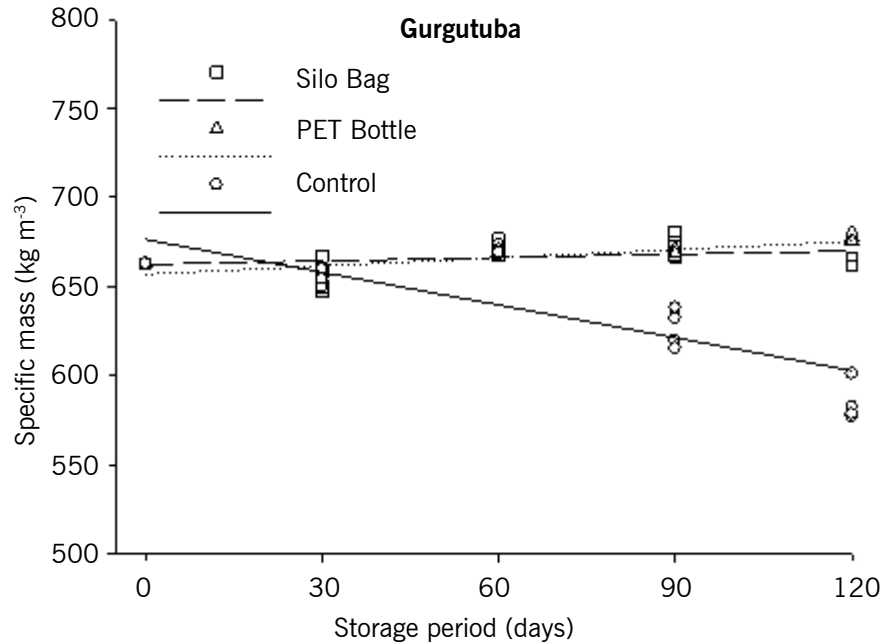


The results obtained for the apparent specific mass of the creole beans throughout the storage period significantly varied ( $F_{4,36} = 45.45$ ;  $p \leq 0.01$ ) and between the systems ( $F_{2,36} = 332.00$ ;  $p \leq 0.01$ ), and there was interaction too ( $F_{8,36} = 70.40$ ;  $p \leq 0.01$ ). Figure 3 and Table 2 show the results for the apparent specific mass during storage, which show that the apparent specific mass of the creole beans stored in the control was lower than the apparent specific mass of those stored under hermetic conditions. The losses of apparent specific mass recorded during storage of Gurgutuba bean seeds in the control treatment are associated with increased moisture content, favored by the presence of insects, which was observed starting at 30 and 60 days of storage, respectively (Figure 2). The linear regression model satisfies the experimental value with the 1% probability being significant as per the Tukey test and showing significant values for the coefficient of determination ( $R^2$ ) (Table 2).

Interaction occurred for the specific mass variable in the Gurgutuba creole variety, and the value of the specific mass of the beans stored in the silo bag did not decrease during storage. The silo bag and PET bottle treatments showed the least increases over the storage period (Figure 3).

The bean seeds stored in the silo bag and PET bottles presented the best results ( $p \leq 0.05$ ) in relation to the control treatment. As stated by Freitas et al. (2011), recorded losses in the apparent density of the stored grains may be associated with increased moisture content, and the presence of fungi and insect-pests, starting at 60 days. However, for Di Lanaro (2011), reduced grain density values can be explained by the lower density of water compared to other components. With increase in grain dimensions, the porosity increases, thus reducing the apparent density. According to Jesus et al. (2013), moisture content is inversely proportional to the apparent specific mass. For Freitas (2009), the similar behavior of grains in storage systems may be primarily associated with low moisture content and the absence of fungi because a reduction of the water metabolized in the respiratory process of grains occurs, thus conserving the moisture content of the grain mass.

Both the silo bag and PET bottle storage systems presented greater specific mass ( $p \geq 0.05$ ), suggesting their efficacy in maintaining this variable over the 120-day storage period. Costa et al. (2010), working with corn stored in silo bags, concluded that there was no significant decrease in the apparent specific mass of the product during storage under the conditions tested. Walnut et al. (2014) examined the validation of a mathematical model for corn storage and concluded that the bag silo system is a viable technique for grain storage.

**Figure 3** – Specific mass of Gurgutuba creole beans over the storage period.

**Source:** Elaboration of the authors (2019).

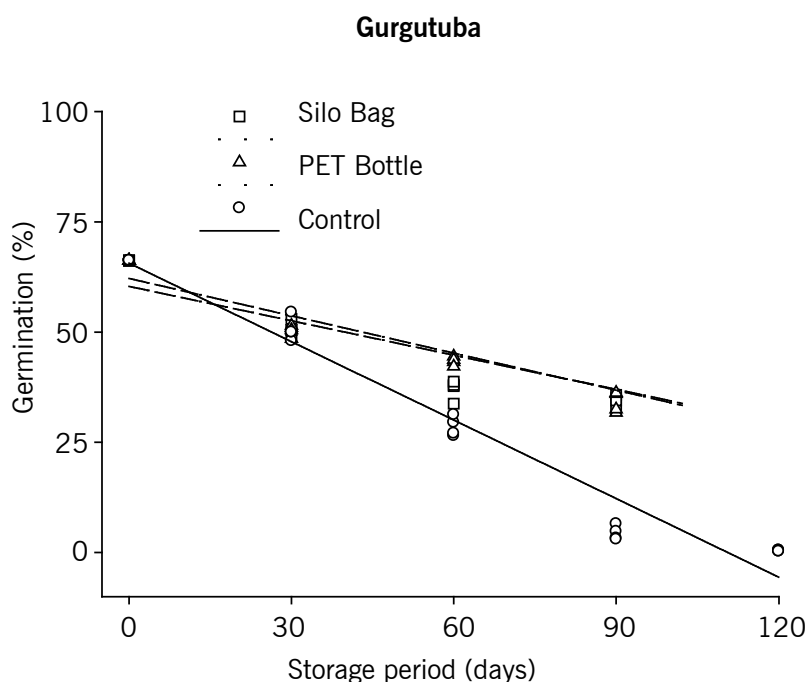
The results for the variable germination in the creole beans varied significantly throughout the storage period ( $F_{4,36} = 1511.53$ ;  $p \leq 0.01$ ) and between the systems ( $F_{2,36} = 812.83$ ), and there was interaction between these factors ( $F_{8,36} = 130.62$ ;  $p \geq 0.01$ ). Figure 4 and Table 2 show the results obtained for the germination percentage of creole beans during storage. Regression models were adjusted only for the characteristics that showed significant variation during the storage period. The characteristics that did not showed significant variation were represented by the means of their values.

During the storage period, it was observed that the germination of the beans of the creole varieties stored in the control treatment was lower ( $p \leq 0.05$ ) compared to the germination percentage of the grains stored in the silo bag and PET bottle (Figure 4), which was the most pronounced result in the control. The linear model satisfactorily represents the experimental values, with significance at 1% probability according to the Tukey test, thus presenting acceptable values for the coefficient of determination ( $R^2$ ). There was interaction between type of storage and storage period, and depending on the storage type, the percentage of germination of the beans was affected throughout the storage period. The germination percentage of the Gurgutuba variety beans in the silo bag and PET bottle storage linearly reduced over the storage period; however, this reduction was greater in the control treatment. At the end of 120 days of storage, a significant difference ( $p \leq 0.05$ ) between storage types was observed, with the silo bag and PET bottle treatments proving to be better at the end of 120 days.

According to Silva et al. (2018), the negative increment is greater in the control treatment with a reduction of up to 100% in germination. The percentage of germination proportionally decreased as the moisture content of the grains increased (Figure 4), thus establishing a possible correlation. However, the decrease in germination percentage may be associated with losses recorded in the degree of infestation because the adjustments made in the regression model for these variables presented similar trends in the quality of the beans (Figure 2). These results are corroborated

by Silva et al. (2018), when they established correlations suggesting that moisture content and electrical conductivity increased with increase in the degree of infestation and that the specific mass and germination decreased with increase in the degree of infestation. A percentage of germination of > 70% is a minimum standard required by the Ministry of Agriculture, Livestock, and Food Supply for marketing (MAPA, 2013). In the initial characterization, this variable was already below the required standards; however, the negative increase was lower in the silo bags and PET bottles. The differences between genotypes suggest that there is genetic variability and that this aspect is influenced by the environment (MICHELS et al. 2014).

**Figure 4** – Germination of Gurgutuba creole beans throughout the storage period.



**Source:** Elaboration of the authors (2019).

The results for the electrical conductivity of the creole beans significantly varied throughout the storage period ( $F_{4,36} = 39.42$ ;  $p \leq 0.01$ ) and between the systems ( $F_{2,36} = 112.64$ ;  $p \leq 0.01$ ), and there was interaction too ( $F_{8,36} = 16.34$ ;  $p \leq 0.01$ ).

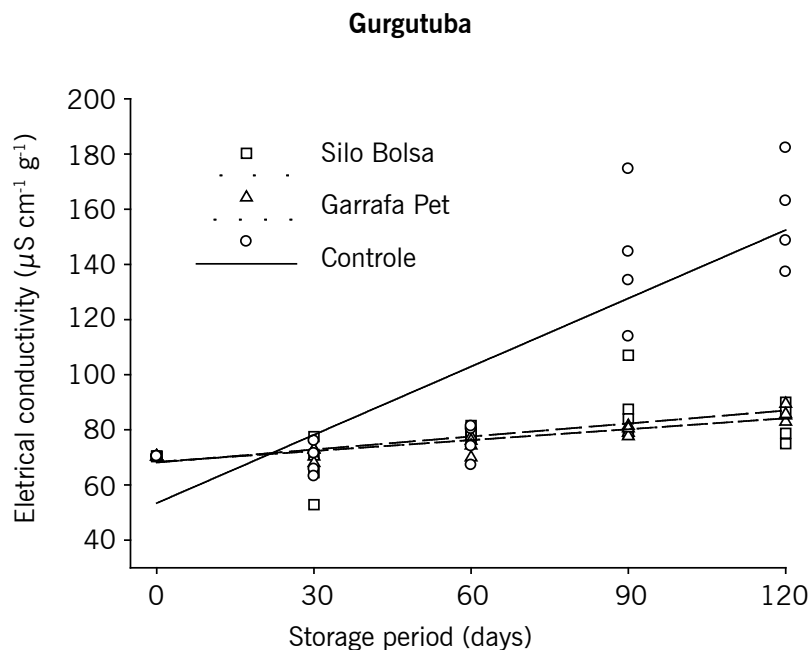
Figure 5 and Table 2 show the results of electrical conductivity of the creole beans throughout the storage period. Regression models were adjusted only for the characteristics that showed significant variation. The characteristics that did not show significant variation were represented by the means of their values. The linear model adequately represents experimental data, being significant at 1% probability as measured by the Tukey test, and presenting acceptable values for the coefficient of determination ( $R^2$ ). Interaction between storage type and storage period occurred and it was observed that, depending on the type of storage, electrical conductivity values are affected throughout the storage period (Figure 5). The electrical conductivity of the solution containing the beans significantly varied ( $p \leq 0.05$ ) over the storage period in the silo bag and PET bottle systems (Table 2); however, this variation was insignificant in relation to the control treatment ( $p \leq 0.01$ ). The increase in electrical conductivity in the solution containing the beans was more significant in the control treatment after

60 days (Figures 5), which indicates considerable electrolytic leaching of cell solutes in these seeds. The results indicate the effectiveness of the silo bag and PET bottle storage systems, which presented low leaching of solutes from the stored seeds.

It is noteworthy that there was no significant difference ( $p \geq 0.05$ ) in the mean electrical conductivity at the end of 120 days between storage types, except for the control treatment, thus highlighting the silo bag and PET bottle treatments as the best at the end of 120 days.

For Zambiasi (2015), the storage time directly influences the values of electrical conductivity, starting at 60 days. However, Pereira et al. (2007) correlated the increase in the electrical conductivity values of the bean solution with the degree of infestation by insect pests, thus confirming the results obtained in this study (Figure 1). For Filho (2015), high concentrations indicate high leaching in solutes and are related to poor quality beans. Cassol (2017) states that leaching of electrolytes indicates lower stability of the plasma membrane; therefore, the higher the value of electrical conductivity the more it interferes with grain quality because of the release of mineral ions. In this study, the increase in electrical conductivity obtained may be associated with the increase in moisture content as well as the high degree of infestation by pests (Figures 1 and 2). Silva et al. (2018) established correlation analyses, suggesting that moisture content and electrical conductivity increased with increase in the degree of infestation and that the specific mass and germination decreased with increase in the degree of infestation.

**Figure 5** – Electrical conductivity of Gurgutuba creole beans throughout the storage period.



**Source:** Elaboration of the authors (2019).

## Conclusion

Hermetic storage in silo bags and PET bottles are effective alternatives to control infestation by insect pests (*A. obtectus* and *Z. subfasciatus*), and do not compromise the physiological qualities of beans in terms of moisture content, specific mass, germination, and electrical conductivity for a period of up to 120 days.

## Qualidade de grãos de feijão crioulo Gurgutuba branco armazenados em silo bolsa e garrafa pet

### Resumo

O armazenamento hermético em silo do tipo bolsa de grãos tem se destacado como alternativa viável ao nível de propriedade rural. Este trabalho teve por objetivo avaliar o uso de silo do tipo bolsa como alternativa no armazenamento de grãos de feijão crioulo. O Experimento foi conduzido no Laboratório de sementes da UFAC, os grãos foram armazenados em silo do tipo bolsa durante 30, 60, 90 e 120 dias. Adicionalmente, foram armazenados em garrafas pet, prática usual. No tratamento controle utilizaram-se de garrafas pet fechadas com tecido organza. O modelo experimental foi DIC fatorial com parcelas subdivididas, com quatro repetições, sendo as parcelas condições de armazenamento e subparcelas períodos de armazenamento. Avaliou-se grau de infestação, teor de água, massa específica aparente, percentual de germinação e condutividade elétrica, em intervalos de 30 dias. Houve variação significativa ( $p < 0,05$ ) entre os tipos de armazenamento. Ocorreu a infestação por *Zabrotes subfasciatus* (Boheman) e *Acanthoscelides obtectus* (Say) (Coleoptera: Chrysomelidae, Bruchidae). A infestação por estes bruchídeos foram inferiores a 7% em grãos armazenados em silo tipo bolsa e garrafa pet. No tratamento controle, o grau de infestação aumentou significativamente ( $p < 0,05$ ), com índices acima de 90% ao fim de 120 dias. O teor de água, massa específica, germinação e condutividade elétrica, dos grãos armazenados em silo do tipo bolsa e garrafa pet preservou as características analisadas durante os 120 dias, com exceção do tratamento controle. O armazenamento em silo do tipo bolsa é uma alternativa eficaz no controle da infestação e na manutenção da qualidade do teor de água, massa específica, germinação e condutividade elétrica, até 120 dias.

**Palavras-chave:** *Phaseolus vulgaris* L. Atmosfera modificada. Hermético. Infestação.

### References

BARONI, G. D.; BENEDETI, P. H.; SEIDEL, D. J. Cenários prospectivos da produção e armazenagem de grãos no Brasil. **Revista Thema**, v. 14, n. 4, p. 55-64, 2017. Disponível em: < DOI: <http://dx.doi.org/10.15536/thema.14.2017.55-64.452>>

BOHNER, T. O. L.; ARAÚJO, L. E. B.; NISHIJIMA, T. O. Impacto ambiental do uso de agrotóxicos no meio ambiente e na saúde dos trabalhadores rurais. **Revista Eletrônica do Curso de Direito**, v. 8, edição especial, p. 329-341, 2013. Disponível em: <DOI: <http://dx.doi.org/10.5902/198136948280>>

BRAGANTINI, C. **Alguns aspectos do armazenamento de sementes e grãos de Feijão**. Santo Antônio de Goiás. Embrapa Arroz e Feijão. 2005. 28 p.

Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA. **Instrução Normativa nº 45**, de 21 de setembro de 2013. Anexo XI - Padrões para produção e comercialização de sementes de feijão. (*Phaseolus vulgaris* L.). Disponível em: [http://www.lex.com.Br/legis\\_24861657\\_InstrucaoNormativa\\_N\\_45\\_DE\\_17\\_de\\_setembro\\_de\\_2013.aspx](http://www.lex.com.Br/legis_24861657_InstrucaoNormativa_N_45_DE_17_de_setembro_de_2013.aspx). Acesso em: 15 março de 2019.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Secretaria de Defesa Agropecuária (ACS). **Regras para análise de sementes (RAS)**. Brasília: MAPA, 2009.399 p.

CASSOL, F. D. R. **Características agrônômicas, nutricionais e tecnológicas de grãos de feijão carioca armazenados, cultivados em sistemas orgânico e convencional**. 2017. 112 f. Tese (Doutorado) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Cascavel, Cascavel, 2017.

COCHRAN, W. G.; COX, G. M. (1968). **Experimental Designs**. 2 ed. New York: Wiley, 1957. 611 p.

COELHO, C. M. M.; MOTA, M. R.; SOUZA, C. A.; MIQUELLUTI, D. J. Potencial fisiológico em sementes de cultivares de feijão crioulo (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 32, n. 3, p. 097-105, set. 2010.

COSTA, A. R. da.; FARONI L. R.; D'ANTONINO.; ALENCAR E. R. de; CARVALHO, M. C. S.; FERREIRA, L. G. Qualidade de grãos de milho armazenados em silos bolsa. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 2, p. 200-207, abr-jun, 2010.

JESUS, F. F. de; DE SOUZA, R. T.; DA SILVA, T. G. C.; TEIXIERA, I. R.; DEVILLA, I. A. Propriedade físicas de sementes de feijão em função dos teores de água. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 21, n. 1, p. 09-18, jan./fev. 2013.

LIMA JÚNIOR, A. F. de; OLIVEIRA, I. P. de; ROSA, S. R. A. da; SILVA, A. J. da; MORAIS, M. M. de. Controle de pragas de grãos armazenados: uso e aplicação de fosfetos. **Revista Eletrônica Faculdade Montes Belos**, v. 5, n. 4, 2012.

LANARO, N. di; BAJAY, L. G.; QUEIROZ, V. M. P.; PINTO, R. C. S.; ALBUQUERQUE, L. I. G. de; LESSIO, B. C.; AUGUSTO, P. E. D. Determinação de propriedades físicas do feijão fradinho. **Revista Brasileira de produtos Agroindustriais**, v. 13, n. 1, p. 27-35, abr. 2011.

ELIAS, H. T.; VIDIGAL, M. C. G.; GONELA, A.; VOGT, G. A. Variabilidade genética em germoplasma tradicional de feijão preto em Santa catarina. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 10, p. 1443-1449, 2007.

FARONI, L. R. A.; SOUSA, A. H. Aspectos biológicos e taxonômicos dos principais insetos-praga de produtos armazenados. In: ALMEIDA, F. A. C.; DUARTE, M. E. M.; MATA, M. E. R. M. C. **Tecnologia de Armazenagem em sementes**, Campina Grande, 2006. p. 371-402.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência agrotecnologia**, v. 38, n. 2, p. 109-112, mar./abr. 2014.

FREITAS, R. S. **Qualidade de grãos de feijão armazenados sob atmosfera modificada**. 2009. 58 f. Dissertação (Mestre em Agronomia: Fitotecnia) Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró-RN.

MARCHER, E. J. **Sistema Silo-Bolsa**. Disponível em: <[www.marcher.com.br/silo-bolsa/graos](http://www.marcher.com.br/silo-bolsa/graos)>. Acesso em: 11 de fev. de 2020.

- MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Piracicaba: Fealq, 2005. 495 p.
- MICHELS, A. F.; SOUZA, C.A.; COELHO, C. M. M.; ZILIO, M. Qualidade fisiológica de sementes de feijão crioulo produzidas no oeste e planalto catarinense. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 45, n. 3, p. 620-632, jul.-set, 2014.
- MATTAR, E. P. L.; OLIVEIRA, E. de; NAGY, A. C. G.; ARAÚJO, M. L.; JESUS, J. C. S. de; SIVIERO, A. **Descrição de cultivares crioulos cultivados no vale do Juruá**. Embrapa Acre - Livro Técnico (INFOTECA) (2016).
- MUTUNGI, C.; AFFOGNON, H.D.; NJOROGE, A.W.; MANONO, J.; BARIBUTSA, D.; MURDOCK, L.L. Triple-layer plastic bags protect dry common beans (*Phaseolus vulgaris*) against damage by *Acanthoscelides obtectus* (Coleoptera: Chrysomelidae) during storage. **Journal of Economic Entomology**, Oxford, v. 108, n. 5, p. 2479–2488, oct. 2015.
- NAVARRO, S. Advanced grain storage methods for quality preservation and insect control based on aerated or hermetic storage and IPM. **Journal Agricultural Engineering**, v. 49, n. 1, p. 13-20, Jan. 2012a.
- NAVARRO, S. The use of modified and controlled atmospheres for the disinfestation of stored products. **Journal of Pest Science**, v. 85, n. 3, p. 301-322, dec. 2012b.
- NJOROGE, A. W.; AFFOGNON, H. D.; MUTUNGI, C. M.; MANONO, J.; LAMUKA, P.O.; MURDOCK, L. L. Triple bag hermetic storage delivers a lethal punch to *Prostephanus truncatus* (Horn) (Coleoptera: Bostrichidae) in stored maize. **Journal Stored Products Research**. v. 58, n. 3, p. 12-19. July 2014.
- NOGUEIRA, R. M.; HERRERA, B. B.; RUFFATO, S.; PIRES, E. M. Simulação e validação de um modelo matemático para o perfil de temperatura do milho armazenado em silo-bolsa. **Científica**, v. 42, n. 4, p. 330-337, jun. 2014.
- PEREIRA, A. M.; FARONI, L. R. D. A.; SOUSA, A. H.; URRUCHI, W. I.; ROMA, R. C. C. Efeito imediato e latente da fumigação com ozônio na qualidade dos grãos de milho. **Revista Brasileira de Armazenamento**, v. 32, n. 2, p. 100-110, dez. 2007.
- RODRÍGUEZ, J. C.; BARTOSIK, R. E.; MALINARICH H. D.; EXILART, J. P.; NOLASCO, M. E. **Almacenaje de granos en bolsas plásticas**: sistema silobag. Disponível em: <<https://www.engormix.com/agricultura/articulos/almacenaje-de-granos-en-bolsas-plasticas-t26448.htm>>. Acesso em: 12 de mar. 2019.
- SANTOS, W. D. dos; CHAVAGLIA, R. F. A importância do controle de armazenagem para conservação e comercialização de grãos. **Revista Científica do Centro de Ensino Superior Almeida Rodrigues**, FAR/ISEAR, Ano 5, nº 5, jan. 2017.
- SCHNEIDER, C. F.; MALAVASI, M. M.; TOLEDO, M. V.; STANGARLIN, J. R.; MALAVASI, U. C. Armazenamento de sementes de feijão submetidas a tratamentos sanitários alternativos. **Revista Verde**, v. 9, n. 4, p. 278 - 283, out-dez, 2014.
- SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality (complete samples). **Biometrika**, v. 52, n. 3-4, p. 591-611, 1965.



SILVA, J. F.; MELO, B. A. DE; LEITE, D. T.; ALMEIDA, F. DE A. C.; PESSOA, E. B. Dados biológicos de *Zabrotes subfasciatus* (Bohemann, 1833)(Coleoptera: Bruchidae) em dois genótipos de *Phaseolus vulgaris* L. **Revista Verde**, v. 8, n. 3, p. 06-09, jul-set, 2013.

SILVA, M. G.; SILVA, G. N.; SOUSA, A. H.; FREITAS, R. S.; SILVA, M. S.; ABREU, A. O. Hermetic storage as an alternative for controlling *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: Chrysomelidae) and preserving the quality of cowpeas. **Journal of stored products research**, v. 78, p. 27-31, set, 2018.

SOARES JÚNIOR, M. S.; CALIARI M.; BECKER F. S.; SOUZA, E. R. B.; VERA, R. Propriedades físicas e químicas de grãos de feijões crioulos vermelhos. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 1, p. 263 – 269, jan-mar, 2015.

SPSS. **Sigma Plot user's guide**, Version 10.0. Chicago: SPSS, 2006.

TUKEY, J. W. Comparing individual means in the analysis of variance. **International Biometric Society**, v. 5, n. 2, p. 99-114, 1949.

VIEIRA, R. D.; CARVALHO, N. M. **Testes de vigor em sementes**. Jaboticabal: FUNEP, 1994. 164 p.

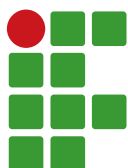
WANDER, A. E.; CASTRO, E. de C. Cadeia de produção de sementes de feijão no Brasil analisada sob a ótica da nova economia institucional. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 31, n. 3, p. 475-492, set./dez. 2014.

WACHTER, S. A.; PEREIRA, F. de A. R. Custo de armazenagem de grãos no sistema Silos bolsa. **Comunicação & Mercado/Unigran**, v. 4, n. 9, p. 245-253, jan-jun/2015.

ZAMBIASI, C. A. **Qualidade de grãos de feijão armazenados em diferentes condições de temperatura**. 2015. 77 f. Tese (Doutorado Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2015.

**Received:** August 14, 2019

**Accepted:** April 16, 2020



# Methods of application and doses of inoculation with *Azospirillum* in agronomic performance of off-season corn crop

Ivan Vilela Andrade Fiorini<sup>1</sup>

Cassiano Spaziani Pereira<sup>2</sup>

Mateus Emanuel Schoffen<sup>3</sup>

Mauricio Escobar Tonial<sup>4</sup>

Daniele Costa Sabino<sup>5</sup>

Adriano Alves da Silva<sup>6</sup>

## Abstract

In order to achieve high yields for off-season corn crop sown after soybean harvest, high doses of nitrogen fertilizers are required. Biological nitrogen fixation helps reduce the use of nitrogen fertilizers through the inoculation of nitrogen-fixing associative bacteria, such as those of the genus *Azospirillum*. This study aimed to evaluate the agronomic performance of corn hybrid DKB390Y in response to different application methods, such as using inoculant and doses of inoculant with *Azospirillum brasilense*. The experiment was conducted in a property adjacent to Federal University of Mato Grosso (Sinop campus), between February and July 2018. The experimental design included randomized blocks in a 3×5 factorial arrangement, replicated four times (with three application methods: foliar spraying; spraying foliar with bovine gelatin; and with a paint roller (Black & Decker Rapid Roller BDPR400-wool®) and five doses of inoculant: 0, 100, 200, 400 and 800 mL ha<sup>-1</sup>). No significant differences were obtained through the application methods in the rates of chlorophyll, plant height, stem diameter, number of rows of grains, number of grains per row, ear length, ear diameter and weight of one thousand grains, except for grain yield. Grain yield was found to be superior with foliar inoculation at 100 mL ha<sup>-1</sup> method foliar spray, and 200 mL ha<sup>-1</sup> at method foliar application with bovine gelatin.

**Keywords:** *Zea mays* L. Biostimulant. Chlorophyll. Foliar application. Roller application.

## Introduction

Corn (*Zea mays* L.) is one of the the most cultivated cereals in Brazil, and has great economic importance due to its role as a raw material for industries, animal feed and human food (PEDRINHO et al., 2010). According to CONAB (2019), the overall production of the second corn crop of 2018/2019 in Mato Grosso, Brazil, reached 31,045,000 tons, with an average productivity of 6,376 kg ha<sup>-1</sup>, which means an increase of 18.5% in production and 8.8% in productivity in relation to the previous

1 Universidade Federal do Mato Grosso (UFMT) – Campus Sinop. Pós-doutorado, Bolsista PNPd CAPES. [ivanvaf@yahoo.com.br](mailto:ivanvaf@yahoo.com.br). Avenida Jacarandás, 6471, Parque das Ararás, Sinop/MT, 78.557-456.

2 UFMT – Campus Sinop/Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais (ICAA). Professor de Agronomia. [cassianospaziani@yahoo.com.br](mailto:cassianospaziani@yahoo.com.br).

3 UFMT – Campus Sinop/ICAA. Aluno de Agronomia. [mateusschoffen@yahoo.com.br](mailto:mateusschoffen@yahoo.com.br).

4 UFMT – Campus Sinop/ICAA. Aluno de Agronomia. [matheusschoffen@yahoo.com.br](mailto:matheusschoffen@yahoo.com.br).

5 UFMT – Campus Sinop/ICAA. Professor de Agronomia. [danielesabino@yahoo.com.br](mailto:danielesabino@yahoo.com.br).

6 Centro Universitário de Formiga (UNIFOR/MG). Professor titular I. [adrianoas@msn.com](mailto:adrianoas@msn.com).

harvest in the state, that was favored by the regular rainy season, which allowed a bigger window in the sowing and a full development of the plant.

There are several factors that can decrease the productivity of a crop, among which the following stand out: pests and diseases, inefficient soil management, low fertility and meteorological problems (water stress, high temperatures etc.). For corn, the limiting factor in obtaining high yields is nitrogen (N) deficiency (FIORINI et al., 2019). This nutrient can be made available to plants in different manners, for example, via chemical fertilizer, organic matter from the soil, or even an organic fertilizer of animal or vegetable origin. The nitrogen can also be made available through biological nitrogen fixation (BNF), an option that has been introduced only recently, but has always been present in nature (PACENTCHUK et al., 2012).

Brazil is a pioneer in inoculation of seeds with microorganisms associated with the BNF process. Proof of this is the massive use of *Rhizobium spp.* inoculants in soybean cultivation; these bacteria are widely recommended due to their efficiency in supplying the high nitrogen requirement of soybean. Estimates point to BNF contributions of more than 300 kg of N per hectare, in addition to the release of 20–30 kg N per hectare for the next crop (HUNGRIA et al., 2010).

According to Hungria (2011), the nitrogen fixed for bacterial varies from 30 to 50 kg per hectare year<sup>1</sup>. As stated by Campos et al. (2001), the annual gain in soybean productivity due to inoculation varies from 80.0 to 291.0 kg ha<sup>-1</sup>, corresponding to an increment from 4.0 to 12.5%. In addition, according to the authors, a problem that was being faced due to the use of mineral N was the low content of proteins translocated to grain, which was often insufficient to satisfy the requirements of industries. Thus, the use of BNF played a key role in solving this, as nitrogen from biological fixation is more easily translocated to grain than mineral N (HUNGRIA et al., 2010).

Therefore, interest arose in obtaining the benefits provided by diazotrophic bacteria for the cultivation of non-legumes, as well. The Brazilian agriculture sector has taken many strides in this direction and today it is possible to identify commercial *Azospirillum spp.* inoculants that are recommended for the most diverse cereal species belonging to the *Poaceae* family. In fact, such inoculants are being commonly used for the cultivation of corn (CADORE et al., 2016).

*Azospirillum* is a genus of free-living bacteria in soil that has a good capacity for BNF associated with plants but without the complexity of nodule formation. It is believed that *Azospirillum* population varies for each hybrid, depending on the different qualitative and quantitative characteristics of the root exudates (CADORE et al., 2016). These microorganisms are considered promoters of plant growth, because not only do they have the capacity for BNF (HUERGO et al., 2008), but they also produce hormones, such as auxins, gibberellins and cytokinins, as well as solubilize phosphates; further, they serve as agents in the biological control of pathogens (CORREA et al., 2008).

The most commonly used method of inoculation is through seed treatment; however, studies conducted in other cultures show that there is a positive effect when the inoculant is applied in the sowing furrow (MÜLLER, et al. 2013), or through foliar application (CICILIATO et al. 2015). An innovative alternative found was the use of a paint roller (Black & Decker Rapid Roller BDPR400-wool) to apply the inoculant between the corn plant lines, in order to achieve a better spread and a greater uniformity of application. Pereira et al. (2018) obtained positive results using this method, while experimenting with herbicides for the control of weeds.

Following the discussion above, it is necessary to deepen our understanding of the topic by evaluating which inoculation method is more efficient. Therefore, this study aimed to evaluate the

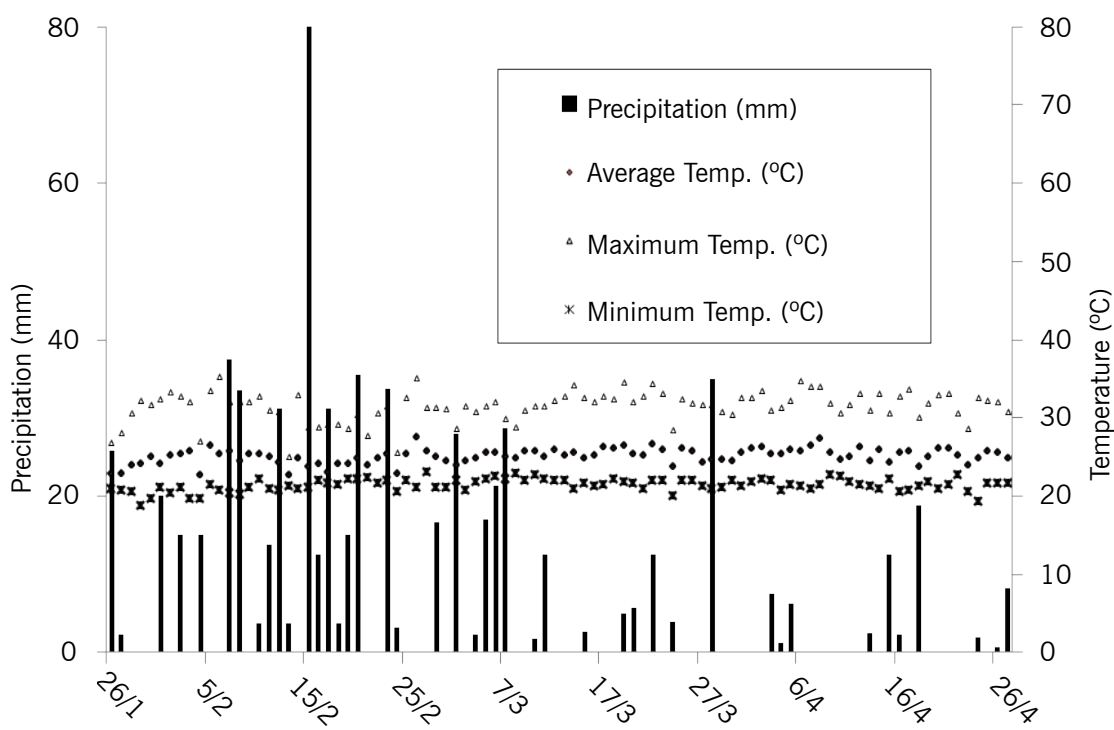
inoculation of *Azospirillum brasilense* through different application methods and at various inoculant dose levels.

## Materials and methods

The experiment was conducted in a commercial area adjacent to Federal University of Mato Grosso (UFMT), Sinop campus, between February and July 2018. The chosen site is located at latitude 11°86'32"S, longitude 55°47'89"O and at an altitude of approximately 380.0 m, with a flat topography. The climate according to Köppen (1948) is classified as Aw (tropical with dry winter), having two well-defined seasons, one rainy (between October and April) and the other dry (from May to September), with low annual thermal amplitude varying between 24.0 and 27.0 °C. The average annual precipitation in the region is approximately 2100 mm (SOUZA et al., 2013).

The Figure 1 is presents the climatologically data of the experiment conducted in the period between January 26 and April 27, 2018.

**Figure 1** – Precipitation (mm) and average, maximum and minimum temperatures (°C) per week during the experiment period. Sinop/MT.



**Source:** Elaborated by authors (2017).

Soil was collected six months before soybean sowing, with the aid of a Dutch auger in the 0.0 to 20.0 cm depth layer, and subsequently a chemical analysis of the soil was conducted at the Soil Laboratory of UFMT (Sinop campus).

From these steps, the following results were obtained: pH (CaCl<sub>2</sub>): 5.1; Organic Matter: 18.55 g dm<sup>-3</sup>; P (Melich<sup>-1</sup>): 6.07; K: 52.00 mg dm<sup>-3</sup>; Ca: 2.84; Mg: 0.93; S: 0.40; Al: 0.0; H: 2.92; cation exchange capacity (CTC pH 7.0): 6.82 cmol dm<sup>-3</sup>; V: 57.2%; Ca/Mg ratio: 3.05; Ca/K ratio: 21.85 and Mg/K ratio: 7.16.

The micronutrient values (in mg dm<sup>-3</sup>) were as follows: Zn: 5.51; Cu: 0.44; Fe: 199.16; Mn: 11.25; and B: 0.15. A physical analysis of the soil revealed the following compositions (in g dm<sup>-3</sup>): sand: 497.0; silt: 125.0 and clay: 378.0. Therefore, it was confirmed that base saturation is in accordance with the requirement for soybean and no liming is required. The soil in the region is classified as Red-Yellow Latosol (SANTOS et al., 2013).

The soybean cultivar (“Bonus”) with industrial treatment of seeds Basf® was sown at a density of 15 seeds per meter, for an average population of 260,000 plants per hectare. Fertilization was realized with 500.0 kg ha<sup>-1</sup> 00-18-18 (NPK), according to the producer’s management, with sufficient phosphorus and potassium required for a good soybean yield (SOUZA and LOBATO, 2004). The culture was inoculated with a liquid inoculant with *Azospirillum* and peat inoculant with *Bradyrhizobium*. Further, fungicide and insecticide were applied three times each one during the development stages, in accordance with necessity and the management of production.

Weed desiccation was carried out twice: once before sowing the crop corn, with the application of 1.5 kg ha<sup>-1</sup> of glyphosate (granulated), and then post-emergence at 30 days, with another 1.5 kg ha<sup>-1</sup> of glyphosate with a spray volume of 100 L ha<sup>-1</sup> through a tractor-mounted bar sprayer.

Next, on January 26, 2018, the corn hybrid sample DKB 390Y was sown, with 0.5 m of spacing between lines and a final stand of 60,000 plants per hectare. The hybrid’s seeds received industrial chemical treatment from Basf®. For sowing fertilization, the doses of 40.0 kg ha<sup>-1</sup> of N, 98.4 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, and 52.5 kg ha<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O was used as per requirements for a good corn crop yield. The application of nitrogen in cover was done manually using urea (45.0% N) at a dose of 30.0 kg ha<sup>-1</sup> (SOUZA and LOBATO, 2004).

The experimental design included randomized blocks in a 3×5 factorial arrangement, replicated four times, thereby totalizing 60 plots. A commercial inoculant — Ab-V5 and Ab-V6 of *Azospirillum brasilense* (10<sup>8</sup> UFC mL<sup>-1</sup>) — was applied in three different methods: foliar spray, foliar application with bovine gelatin, and with the aid of a size 23 paint roller (Black & Decker Rapid Roller BDPR400--wool®), size 23.0 cm, sheep wool material, with 9.0 mm application in the soil between the corn lines. The controls without inoculant *Azospirillum* was the doses 0.0 mL ha<sup>-1</sup> for each application method, using bomb of CO<sub>2</sub> for foliar spray and foliar application with bovine gelatin methods.

For each application method, five different inoculant doses were used: 0, 100, 200, 400.0 and 800.0 mL ha<sup>-1</sup>. The treatments were applied in the V4 development stage, period with rapid accumulation of dry mass and nutrients in a corn plant (RITCHIE et al., 2003). The experimental plots consisted of four cultivation lines, with five meters in length and 0.5 meter of spacing between lines. The usable area of the plot for samples was considered to be between the 2.0 central lines and 4.0 meters in length, thereby disposing off 0.5 meter at each end of the plots and the two lateral lines.

The following characteristics were evaluated for chlorophyll content, plant height and diameter of the plant. The measurements were obtained at the full flowering stage (R2) from six plants selected at random from each useful plot area, approximately 60 days after corn germination. The chlorophyll content was determined using the superior leaf, below the main ear, with the aid of a chlorophyll meter ClorofiLoG® (model CFL-1030) of the industries Falker®, which estimates the content of chlorophyll indirectly, using units SPAD (Soil Plant Analysis Development) (FIORINI et al., 2019).

According to Argenta et al. (2001), a precise estimate of the chlorophyll content in the leaves is an efficient parameter for monitoring plant nitrogen levels. The chlorophyll meter readings indicate

proportional values of chlorophyll on the sheet, which are calculated based on the amount of light transmitted, and absorbed through the sheet at two wavelengths with different chlorophyll absorbances.

The height of plants was obtained, still in the field, using a measuring tape, measuring the six plants of the soil until the last expanded leaf of the corn (flag leaf). The stem diameter was obtained with the digital caliper close to the ground, in the first internode visible above the soil (FIORINI et al., 2019).

The characteristics of yield corn were evaluated after the ears were harvested manually on July 15, 2018, approximately 150 days after corn germination. They had a grain moisture in harvest at level of approximately  $240.0 \text{ g kg}^{-1}$ , were the samples were packed in plastic bags containing the respective plot markings and taken to UFMT (Sinop campus), with subsequently drying in full sun, until they reached a moisture level of  $130.0 \text{ g kg}^{-1}$ .

After harvesting, the analyzed six ears of the plants representative in each sample were evaluated according to characteristics components of productivity number of rows of grains, number of grains per row, length of ears, diameter of ears and the weight of a thousand grains obtained from each useful portion of samples were the treatments counted. The number of rows of grains and the number of grains per row were obtained by counting. The length of ears and diameter of ears were measured with a tape measure. After threshing with the aid of a manual thresher, the grain yield was quantified by weighing the grains from the useful area of each plot being calculated in  $\text{kg ha}^{-1}$ . Subsequently, the samples were threshed with the aid of a manual thresher, with subsequent counting of the mass of a thousand grains, where the weight was measured on a precision scale of brand Fillizola®, and the grain yield was quantified through the weight of the grains of each parcel in the area, of the useful portion of the plot, being calculated in  $\text{kg ha}^{-1}$ .

Tests for additivity of the model, normality of errors and homogeneity of variances were performed as well. No restrictions on the assumptions for the analysis of variance, the data were subjected to analysis of variance (ANOVA) at 5% probability through the F test, using the Sisvar® statistical analysis system (FERREIRA, 2011). For qualitative variables, means were compared using the Scott-Knott test at 5% probability. For quantitative variables, the models were selected based on the significance of the regression coefficients using the t Student-test, adopting a 5% probability of determination as the  $r^2$  value (SQRegression/SQtotal).

## Results and discussion

During the field crop cycle, water availability was ideal for the development of the simple corn hybrid, and there were excellent conditions to express its productivity, without interference from water stress (Figure 1). Temperatures during the period of conducting the experiment ranged between  $19.0 \text{ }^\circ\text{C}$  and  $35.0 \text{ }^\circ\text{C}$  with an average of  $22.84^\circ\text{C}$ , and the monthly average rainfall of the accumulated values of  $395.0 \text{ mm}$  in February,  $180.0 \text{ mm}$  in March and  $62.0 \text{ mm}$  in April, that is, they were not limiting the growth, development and productivity of the second crop corn crop (Figure 1).

For Albuquerque et al. (2010), a medium cycle hybrid, aiming at grain production, consumes  $380.0$  to  $550.0 \text{ mm}$  of water in its cycle. According to Sangoi et al. (2007) the sowing of second crop corn is extremely dependent on temperature variations, solar radiation and especially precipitation, since second crop corn is sown in late summer, where it is more susceptible to climatic limitations.

The characteristics evaluated in the full bloom of stage R2 corn, such as total chlorophyll content, plant height and stem diameter were not influenced by the different methods of application of *Azospirillum* (Table 1).

**Table 1** – Means of the variables analyzed in full bloom stage R2: total chlorophyll content total (CLO), plant height (PH) and stem diameter (SD), under conditions of off-season corn crop according to the application methods. UFMT. 2017/2018 agricultural year, Sinop/MT.

Application methods:	Variables analyzed		
	CLO (units SPAD)	PH (m)	SD (mm)
Foliar	55.74 a	2.38 a	22.03 a
Foliar with Bovine Gelatin	55.64 a	2.36 a	22.14 a
Roller	54.99 a	2.34 a	21.28 a
C.V.(%)	4.57	2.87	4.35
General Averages	55.46	2.36	21.82

\*The averages followed by the same letters did not differ at the 5% probability level by the Scott-Knott test.

**Source:** Elaborated by the authors (2017).

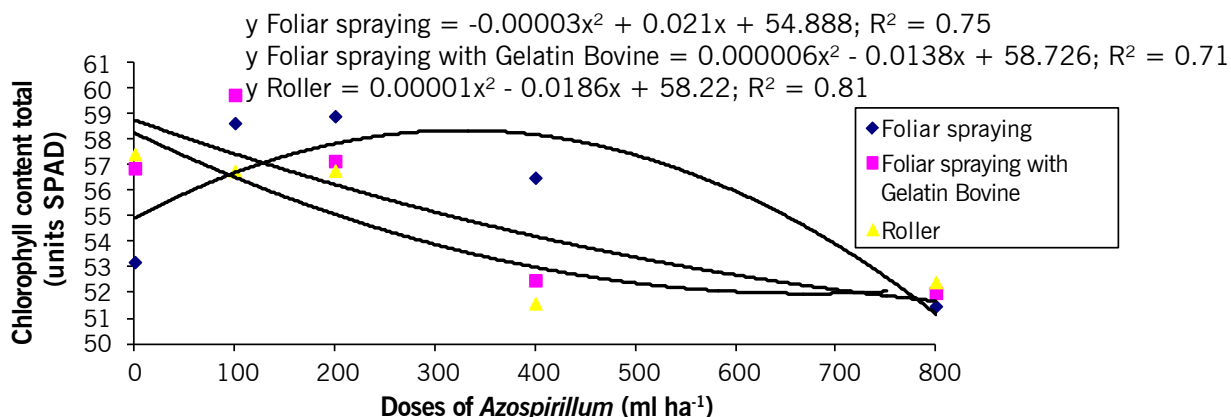
The average chlorophyll content of the plant of the corn obtained in this study for various application methods was to 55.46 units SPAD, and are similar obtained by other authors at the flowering stage R2 on the opposite lower leaf of the main ear in corn crop (ARGENTA et al., 2001; AMARAL FILHO et al., 2005; CADORE et al., 2016; FIORINI et al., 2017; FIORINI et al., 2019).

For the variable plant height variable, there was no significant effect for the treatments tested, and the values obtained ranged from 2.34 to 2.38 m. The same occurred for the stem diameter, in which the values varied from 21.28 to 22.14 mm, with no statistical differences between treatments with residual fertilization of soy in corn. These values are similar to those obtained by Cadore et al. (2016) for the same corn hybrid, with no response regarding plant height and stem diameter as a function of N doses in coverage and application of inoculation with *Azospirillum*. Corroborating, until then, with the work of Valderrama *et al.* (2011), who evaluated application of 0, 40, 80 and 120 kg ha<sup>-1</sup> of N in the form of urea for the same corn hybrid and found no difference in this variable. Probably, the residual of the N fertilization of the soy with the application of the treatments with 10.0 kg ha<sup>-1</sup> of N was not enough to obtain answers in the vegetative characteristics of the growth of the corn and in the levels of total chlorophyll.

The chlorophyll content still varied according to the methods of application, where there were interactions between the methods of application and the bio stimulant doses with the highest values observed for the methods of application in the 100.0 mL ha<sup>-1</sup> dose of bio stimulant. For the leaf application method, the quadratic equation was the best fit of the data with the point of maximum estimated value for the dose 350.0 mL ha<sup>-1</sup>. As for the foliar application methods with bovine gelatin and application via roller between the lines of the corn, as the dose of bio stimulant was increased, according to the quadratic regression equations there were reductions in chlorophyll contents with the points of minimum values estimated by the equations, 1150.0 and 930.0 mL ha<sup>-1</sup> (Figure 2).



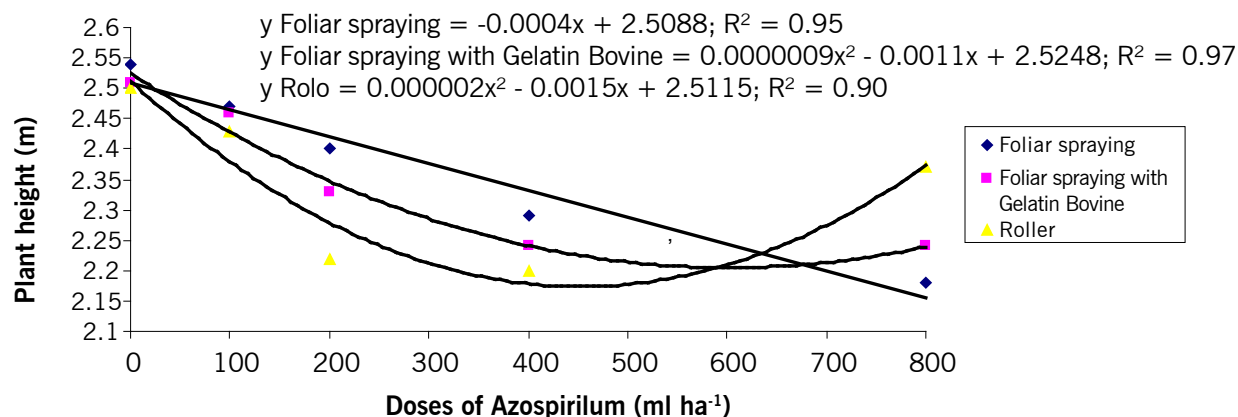
**Figure 2** – Chlorophyll content total as a function of application methods and inoculant doses under conditions of off-season corn crop in the 2017/2018 agricultural year. Sinop/MT.



Source: Elaborated by the authors (2017).

The plant height varied according to the application method. There were interactions between the methods of application and the doses of bio stimulant with the highest values observed for the control without bio stimulant. For the foliar application method, there was a linear reduction according to the bio stimulant doses. The quadratic model was the best fit for the foliar application methods with bovine gelatin and via roller between the corn lines with the minimum values estimated by the equations for doses 611.0 and 375.0 mL ha<sup>-1</sup>, respectively (Figure 3).

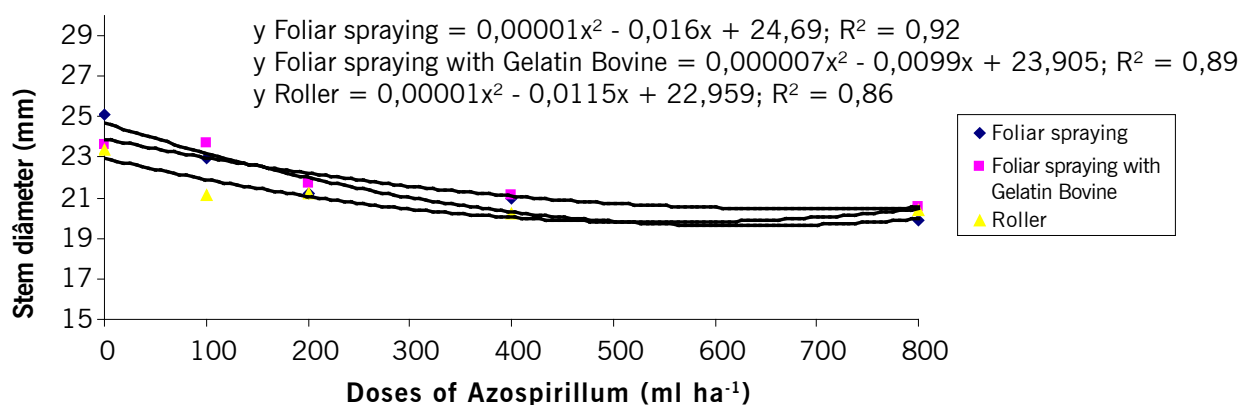
**Figure 3** – Plant height (m) as a function of application methods and inoculants doses under conditions of off-season corn crop in the 2017/2018 agricultural year. Sinop/MT.



Source: Elaborated by the authors (2017).

For the stem diameter, there were reductions according to the increase in doses, where the control without the application of bio stimulant showed the highest values for this variable. The quadratic model was the best fit for the foliar application, foliar application with bovine gelatin and via roller between the corn lines with the minimum values estimated by the equations for the doses 800.0, 707.14 and 575.0 mL ha<sup>-1</sup>, respectively (Figure 4). The stem diameter, as well as the plant height, showed higher values in the controls without the application of bio stimulant with differences of low magnitude in relation to the other doses in the application methods, despite that there was no damage to the productivity of off-season corn crop.

**Figura 4** – Stem diameter (mm) as a function of application methods and inoculant doses under conditions of off-season corn crop in the 2017/2018 agricultural year. Sinop/MT.



**Source:** Elaborated by the authors (2017).

The application of treatments in the *Azospirillum* application methods did not statistically influence the component characteristics of corn yield: number of rows of grains, number of grains per row, length of ears, diameter of ears, weight of a thousand grains; except for grain yield, where the mode via application roller between the lines of the crop was statistically inferior to the other methods of application (Table 2).

**Table 2** – Averages of the variables analyzed at harvest in the period of physiological maturity: number of rows of grains (NRG), number of grains per row (NGR), length of ears (LE), diameter of ears (DE), weight of a thousand grains (WTG) and grain yield (GY), under conditions of off-season corn crop according to the application methods. UFMT. 2017/2018 agricultural year, Sinop/MT.

Application methods:	Variables analyzed					
	NRG	NGR	LE (cm)	DE (cm)	WTG (g)	YG (kg ha <sup>-1</sup> )
Foliar	16.95 a	34.40 a	17.20 a	5.40 a	325.99 a	6892.00 a
Foliar with Bovine Gelatin	17.05 a	33.95 a	16.75 a	5.35 a	320.16 a	6781.00 a
Roller	17.10 a	34.15 a	17.03 a	5.35 a	317.58 a	6272.50 b
C.V.(%)	7.15	6.02	5.90	9.29	3.55	9.14
General Averages	17.03	34.16	16.99	5.16	321.24	6648.50

\*The averages followed by the same letters did not differ at the 5% probability level by the Scott-Knott test.

**Source:** Elaborated by the authors (2017).

For the number of rows of grains (NRG), there was no significant effect for the methods of application of the *Azospirillum* tested, and the average values obtained ranged from 16.95 to 17.10 rows of grains on the ear of corn. The same occurred with the number of grains per row (NGR), where the values ranged from 33.95 to 34.40 grains per row, with no statistical differences between the methods of application of *Azospirillum* in corn. Biscaro et al. (2011) also found no difference in the number of rows evaluating N doses for off-season corn. Cadore et al. 2016, obtained different results, as the nitrogen coverage levels generated significant increases in relation to the non-application of N. However, there was no significant difference in the number of grains per row corroborating with the results obtained in the present study.

In a study carried out by Kappes et al. (2009), it showed that there was no difference between the treatments for the variable NRG, as it is a genetic characteristic controlled by several genes and little influenced by edapho-climatic and management factors. According to Ohland et al. (2005), evaluating the management of nitrogen fertilization in corn under no-tillage system did not find any difference for the ear diameter and length. Gomes et al. (2007) also did not find an effect on the weight of a thousand grains with the increase of N doses applied in the culture.

Among the nutrients required by corn, nitrogen (N) is the one that limits the most its growth, in addition to being required in greater quantity. N is a constituent of proteins, nucleic acids and other cellular constituents, as well as membranes and various plant hormones. Thus, its deficiency can cause generalized chlorosis of the older leaves, and decreased plant growth. It's most common absorption by corn is in the form of nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ), due to the nitrification process of N that occurs in the soil. According to Malavolta et al. (2006), N is an element involved in the synthesis of chlorophylls and protein compounds, showing the potential to increase the capacity of plants to produce reproductive buds. In the present study, the low dose of N applied at different stages of soybean  $10.0 \text{ kg ha}^{-1}$  of N was not sufficient to generate increases in NRG and NGR characteristics, compared to the control without N.

For the length of ears (LE), there was no significant effect for the *Azospirillum* application methods tested, and the mean values obtained ranged from 16.75 to 17.20 cm in the corn ear. The diameter of ear varied from 5.35 to 5.40 cm without statistical differences between the methods of application of *Azospirillum* in off-season corn crop. The same fact occurred for the number of grains per row (NGR), where the values varied from 5.35 to 5.40 cm in the ear, with no statistical differences between the methods of application of *Azospirillum* in corn. For the variable weight of a thousand grains (WTG), it was found that the application of N in different methods of application varied from 317.58 to 325.99 grams and did not differ statistically in the methods of application in the second crop corn crop. Most of the studies involved with nitrogen doses associated or not with inoculation with *Azospirillum* did not find differences for these characteristics of maize productivity (Ohland et al., 2005; Gomes et al., 2007; Barros Neto et al., 2008; Kappes et al., 2009; Vorpapel et al., 2010; Biscaro et al., 2011; Valderrama et al., 2011; PORTUGUAL et al., 2012; DARTORA et al., 2013; CUNHA et al., 2014; QUADROS et al., 2014; CICILIATO et al., 2015; CADORE et al., 2016; MUMBACH, 2017).

For the grain yield, the application via foliar with or without bovine gelatin ( $6,892.0$  and  $6,781.0 \text{ kg ha}^{-1}$ ) in the corn of the bacterium *A. brasilense* provided greater grain productivity that varied from in relation to the method of application via roller between the line of corn ( $6,272.50 \text{ kg ha}^{-1}$ ). Portugal et al. (2012) found that corn productivity with the use of the bacterium *A. brasilense* was increased by  $868 \text{ kg ha}^{-1}$ , that is, an increase of 14.75%.

Probably, leaf inoculation of *A. brasilense* provided greater productivity due to the biological N fixation (BFN), indicated by the increase in N leaf content, that promoted greater growth of the root system, causing the roots to explore greater soil volume, increasing the absorption of nutrients and water. The data obtained agree with those of Barros Neto et al. (2008), who, using *A. brasilense* in an experiment with corn, obtained an increase in grain yield from  $9,021.0$  to  $9,814.0 \text{ kg ha}^{-1}$ , that is, average productivity statistically 9.0 % higher than the control not inoculated. The predecessor crop of the present work was soy, a legume efficient in biological nitrogen fixation, in which it allows the availability of a residual N in the soil. This may have increased the efficiency of *Azospirillum*

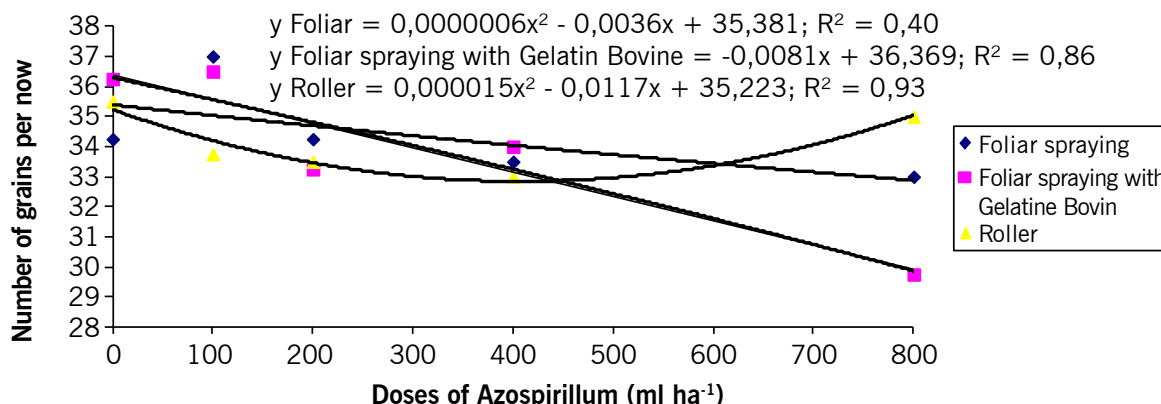
and increased the availability of N according to the doses applied in coverage reflecting significant differences in productivity.

These high values in the productivity of the off-season corn crop can also be explained by the high capacity of the soil to supply N to the plants, due to the residual N left by the predecessor crop of soybeans, as well as by the appropriate climatic conditions during the crop cycle, mainly good rainfall during the critical period of grain productivity (grain filling), fertility conditions of the soil that had good levels of nutrients and the fertilization of planting and corn cover.

According to Ritchie et al. (2003), when defining the number of grains and the size of the ear (stage V12), moisture and nutrient deficiencies can seriously reduce the potential number of seeds and the size of the ears harvested, which may explain the shorter lengths of ears and lower yields of off-season crop corn compared to first sown crop corn.

The number of grains per row of corn cob varied according to the application methods, where there were interactions between the application methods and the bio stimulant doses with the highest values observed for the application methods at the 100 ml ha<sup>-1</sup> dose, except for the application method via roller between the lines of the corn, where the control was of greater value. For the foliar application methods with bovine gelatin and application roller between the lines as the dose of bio stimulant was increased, there was a linear reduction according to the regression equation. For the leaf application method, the quadratic equation was the best fit of the data with the point of minimum value calculated for the dose 400.0 mL ha<sup>-1</sup> (Figure 5).

**Figure 5** – Number of grains per row as a function of application methods and doses of *Azospirillum* inoculant under conditions of off-season corn crop in the 2017/2018 agricultural year. Sinop/MT.

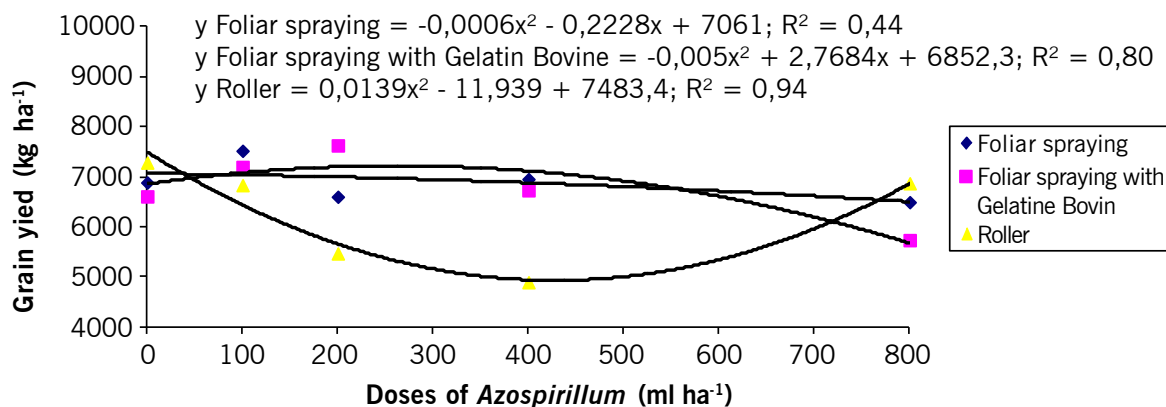


**Source:** Elaborated by the authors (2017).

For the number of rows of grains, length of ears, diameter of ears and weight of thousand grains, no statistically significant differences were found between the methods of application, doses and also did not show any interaction between the factors studied.

Grain yield varied according to the application method utilized, and there were interactions between the application methods used and the doses levels of bio stimulant. The quadratic model was the best fit for all the three application methods. The maximum values for the foliar spray and foliar application with bovine gelatin methods were at doses of 185.0 and 261.0 ml ha<sup>-1</sup>, respectively. For the roller method, the minimum point was at 429.0 mL ha<sup>-1</sup> (Figure 6).

**Figure 6** – Grain yield ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) as a function of application methods and doses of *Azospirillum* inoculant under conditions of off-season corn crop in the 2017/2018 agricultural year. Sinop/MT.



Source: Elaborated by the authors (2017).

Grain yield was greater when the plants were inoculated at doses of  $100.0 \text{ mL ha}^{-1}$  and  $200.0 \text{ mL ha}^{-1}$  for the foliar spray and foliar gelatin application methods, respectively. The inoculation with *Azospirillum* generated increases in the analyzed variables. For the roller application method, the control ( $0 \text{ ml ha}^{-1}$ ) provided the highest grain yield, with subsequent reduction up to the  $400.0 \text{ mL ha}^{-1}$ . The treatments differed statistically, and foliar inoculation with  $100.0 \text{ mL ha}^{-1}$  resulted in an increase in grain yield of  $632.5 \text{ kg ha}^{-1}$ , which corresponds to  $10.54 \text{ bags ha}^{-1}$ . With foliar bovine gelatin, the grain yield gain reached  $1,017.5 \text{ kg ha}^{-1}$ , or  $16.95 \text{ bags ha}^{-1}$ . Therefore, foliar inoculation of *Azospirillum brasiliense* may be a viable option for farmers who cannot perform it via seed.

Vorpagel et al. (2010) obtained a gain in corn grain yield of the order of  $227.0 \text{ kg ha}^{-1}$ ; however, this was not statistically different when compared with other treatments. Vorpagel also states that the use of *Azospirillum*, whether or not associated with the nitrogen fixation, did not show any statistically significant difference for any of the evaluated performance characters when compared with the control. According to Reis (2007), there has been great variability in the results for most diverse cultures that have been tested, with the average increase in grain yield being approximately 20.0 to 30.0 %. Portugal et al. (2012), observed an increase of 14.7% in corn grain yield through foliar application of *Azospirillum* at V6 stage.

Several studies demonstrate that corn is dependent on nitrogen fertilization, regardless of whether or not nitrogen-fixing bacteria are inoculated. However, authors such as Mumbach et al. (2017) state that inoculation can contribute up to 40.0 % of the nitrogen needed for the development of the crop. According to Hungria (2011), the nitrogen fixed by the bacteria varies from  $30.0$  to  $50.0 \text{ kg per hectare year}^{-1}$ .

## Conclusions

The application of *Azospirillum* doses did not increase the chlorophyll content, plant height, stem diameter, number rows of grain, number of grains per row, length of ears, diameter of ear, weight of a thousand grains, except for grain yield.

The application of *Azospirillum* showed statistical differences between doses and application methods, as well as the interaction between doses with the application methods for chlorophyll and grain yield, highlighting the methods foliar application and foliar application with bovine gelatin.

The foliar application of *Azospirillum* with the dose of 100.0 mL ha<sup>-1</sup> showed an increase in grain yield, in relation to the control and other treatments, regardless of the reduction of chlorophyll content, stem diameter and number of grains per row.

An inoculant dose of 100.0 mL ha<sup>-1</sup>, as recommended by the manufacturer, appears to be the most appropriate dose for the crop for increasing grain yield.

Foliar application with bovine gelatin at a dose of 200.0 mL ha<sup>-1</sup> also showed an increase in grain yield (control versus and other treatments), irrespective of the reduction in chlorophyll content, stem diameter and number of grains per row.

## Modos de aplicação e doses de inoculação com *Azospirillum* no desempenho agrônômico do milho segunda safra

### Resumo

Para alcançar altas produtividades para o milho de segunda safra semeado após a colheita da soja, são necessárias altas doses de fertilizantes nitrogenados. A inoculação de bactérias associativas de vida livre fixadoras de nitrogênio, como as do gênero *Azospirillum*, auxilia na diminuição do uso de fertilizantes nitrogenados. Objetivou-se avaliar características relacionadas ao desempenho agrônômico do milho híbrido DKB390Y em resposta a diferentes modos de aplicação, associadas a diferentes doses de inoculante à base de *Azospirillum brasiliense*. O experimento foi conduzido em uma área próxima a UFMT Campus Sinop, entre os meses de janeiro e junho de 2018. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em arranjo fatorial 3 x 5 (3 modos de aplicação: pulverização foliar, aplicação foliar com gelatina bovina e com auxílio de um rolo de tinta (Rapid Roller Bdpr 400-lã Black & Decker®) e 5 doses de inoculante: 0, 100, 200, 400 e 800 mL ha<sup>-1</sup>) com 4 repetições. Para os modos de aplicação, não foram obtidas diferenças significativas nas variáveis clorofila, altura das plantas, diâmetro de colmos, número de fileiras de grãos, número de grãos por fileira, comprimento de espigas, diâmetro de espigas e peso de mil grãos, exceto para a produtividade de grãos. A produtividade de grãos foi superior quando se inoculou 100 mL ha<sup>-1</sup> no modo via foliar e 200 mL ha<sup>-1</sup> no modo foliar com gelatina bovina.

**Palavras-chave:** *Zea mays* L. Bioestimulante. Clorofila. Aplicação foliar. Aplicação por rolo.

### References

ALBUQUERQUE, P. E. P.; RESENDE, M. **Cultivo do milho: manejo de irrigação**. 2010. Disponível em: <[https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPMS/15603/1/Com\\_47.pdf](https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPMS/15603/1/Com_47.pdf)>. Acesso em: 17 nov. 2019.

Amaral Filho, J. P. R.; Fornasieri Filho, D.; Farinelli, R.; Barbosa, J. C. Espaçamento, densidade populacional e adubação nitrogenada na cultura do milho. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n.1, p. 467-473, 2005.

ARAÚJO, E. O.; MERCANTE, F. M.; VITORINO, A. C. T.; NUNES, D. P.; PAIM, L. R.; MENDES, D. A. E. Estado nutricional do milho em resposta à aplicação de nitrogênio e à inoculação com *Azospirillum brasiliense* e *Herbaspirillum seropedicae*. In: XII Seminário Nacional Milho Safrinha, Dourados/MS, novembro, 2013.



ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F.; BORTOLINI, C. G.; FORSTHOFER, E. L.; STRIEDER, M. L. Relação da leitura do clorofilômetro com os teores de clorofila extraível e de nitrogênio na folha de milho. **Revista Brasileira Fisiologia Vegetal**, Viçosa, v. 13, n. 2, p. 158-167, 2001.

ARSAC, J. F.; LAMOTHE, C.; MULARD, D.; J. FAGES, J. Growth enhancement of maize (*Zea mays* L.) through *Azospirillum lipoferum* inoculation: effect of plant genotype and bacterial concentration. **Agronomie**, Paris, v. 10, p. 640-654, 1990.

BARTCHECHEN, A.; FIORI, C. C. L.; WATANABE, S. H.; GUARIDO, R. C. Efeito da inoculação de *Azospirillum brasilense* na produtividade da cultura do milho (*Zea mays* L.). **Campo Digital**, Campo Mourão, v. 5, n. 1, p. 56-59, 2010.

BATTISTUS, A. G. **Inoculação via semente e foliar de *Azospirillum brasilense* associado a tratamento de semente com bioativador na cultura do milho**. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Estadual d'Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2015.

CADORE, R.; NETTO, A. P. C.; REIS, E. F.; RAGAGNIN, V. A.; FREITAS, D. S.; LIMA, T. P.; ROSSATO, M.; D'ABADIA, A. C. A. Híbridos de milho inoculados com *Azospirillum brasilense* sob diferentes doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v.15, n. 3, p. 398-409, 2016.

CAMPOS, B. C.; HUNGRIA, M.; TEDESCO, V. Eficiência da fixação biológica de n<sub>2</sub> por estirpes de *bradyrhizobium* na soja em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 25, n. 3, p. 583-592, 2001.

CICILIATO, A. L.; CASIMIRO, E. L. N. Inoculante *Azospirillum brasilense* via foliar associado a diferentes fertilizantes foliares na cultura do milho. **Revista Cultivando o Saber**, Cascavel, Ed. Especial, p. 1-10, 2015.

CONAB-COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos: Oitavo levantamento**. Safra 2018/19, v. 6, n. 12. Décimo segundo levantamento, setembro 2019. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>>. Acesso em: 22 abr. 2020.

CORREA, O. S.; ROMERO, A. M.; SORIA, M. A.; ESTRADA, M. de. *Azospirillum brasilense* plant genotype interactions modify tomato response to bacterial diseases, and root and foliar microbial communities. In: CASSÁN, F. D.; GARCIA DE SALAMONE, I. (Ed.) ***Azospirillum sp.*: cell physiology, plant interactions and agronomic research in Argentina**. Buenos Aires: Asociación Argentina de Microbiología, 2008. p. 87-95.

CUNHA, F.; SILVA, N.; BASTOS, F.; CARVALHO, J.; MOURA, L.; TEIXEIRA, M.; ROCHA, A.; SOUCHIE, E. Efeito da *Azospirillum brasilense* na produtividade de milho no sudoeste goiano. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 13, p. 261-272, 2014.

DARTORA, J.; GUIMARÃES, V. F.; MARTINI, D.; SANDER, G. Adubação nitrogenada associada à inoculação com *Azospirillum brasilense* e *herbaspirillum seropedicae* na cultura do milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 10, p.1023-1029, 2013.

Ferreira, D.F. Sisvar: A computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 1, p. 1039-1042, 2011.



Fiorini, I. V. A.; Von Pinho, R. G.; Pereira, H. D.; Pires, L. P. M.; Fiorini, F. V. A. e Resende, E. L. Dry matter accumulation, chlorophyll and sulfur leaf in corn fertilized with different sulfur sources. **Journal Bioenergy and Food Science**, Gurupi, v. 4, n. 1, p. 1-11, 2017.

FIORINI, I. V. A.; PEREIRA, C. S. ; PEREIRA, H. D. ; RESENDE, F. R. ; RESENDE, E. L. ; SILVA, A. A. Avaliação do efeito residual do nitrogênio liberado pelos restos culturais da soja na produtividade do milho segunda safra. **Revista Agrogeambiental**, Pouso Alegre, v. 11, p. 168-177, 2019.

HUERGO, L. F.; MONTEIRO, R. A.; BONATTO, A. C.; RIGO, L. U.; STEFFENS, M. B. R.; CRUZ, L. M.; CHUBATSU, L. S.; SOUZA, E. M.; PEDROSA, F. O. Regulation of nitrogen fixation in *Azospirillum brasilense*. In: CASSÁN, F. D.; GARCIA DE SALAMONE, I. ***Azospirillum* sp.**: cell physiology, plant interactions and agronomic research in Argentina. Buenos Aires: Asociación Argentina de Microbiología, p. 17-35. 2008.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; SOUZA, E. M. S.; PEDROSA, F. O. Inoculation with selected strains of *Azospirillum brasilense* and *A. lipoferum* improves yields of maize and wheat in Brazil. **Plant and Soil**, Netherlands, v. 331, n. 1/2, p. 413-425, 2010.

HUNGRIA, M. **Inoculação com *Azospirillum brasilense***: inovação em rendimento a baixo custo. Documento 325: Embrapa Soja, Londrina. 2011. 266 p.

KAPPES, C.; ARF, O.; ARF, M. V.; FERREIRA, J. P.; BEM, E. A. D.; PORTUGUAL, J. R.; VILELA, R. G. Inoculação de sementes com bactérias diazotróficas e aplicação de nitrogênio em cobertura e foliar em milho. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 2 p. 527-538, 2013.

KÖPPEN, W. **Climatologia**: con un estudio de los climas de la Tierra. México: Fondo de Cultura Economica, 1948. 478 p.

MÜLLER, T. M. **Inoculação de *Azospirillum brasilense* associada a níveis crescentes de adubação nitrogenada e o uso de bioestimulante vegetal na cultura do milho**. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual do Centro-Oeste, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal, Guarapuava, p. 48, 2013.

MUMBACH, G. L.; Kotowski, I. E.; Schneider, F. J. A.; Mallmann, M. S.; Bonfada, É. B.; Portela, V. O.; Kaiser, D. R. Resposta da inoculação com *Azospirillum brasilense* nas culturas de trigo e de milho safrinha. **Revista Scientia Agraria**, Curitiba, v. 18, n. 2, p. 97-103, 2017.

NUNES, P. H. M. P.; AQUINO, L. A.; SANTOS, L. P. D.; XAVIER, F. O.; DEZORDI, L. R.; ASSUNÇÃO, N. S. Produtividade do trigo irrigado submetido à aplicação de nitrogênio e à inoculação com *Azospirillum brasilense*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, n. 1, p. 174-182, 2015.

PACENTCHUK, F.; BAZZANEZI, N. A.; DECZA, H.; VIDAL, V.; CHIQUITO, R. N.; ROYER, R. **Aplicação de *Azospirillum brasilense* com diferentes formas, doses e taxas de aplicação na cultura do milho**. Guarapuava, 2013. (Apresentação de Trabalho)

PEDRINHO, E. A. N.; GALDIANO JÚNIOR, R. F.; CAMPANHARO, J. C.; ALVES, L. M. C.; LEMOS, E. G. M. Identificação e avaliação de rizobactérias isoladas de raízes de milho. **Bragantia**, Campinas, v. 69, p. 905-911, 2010.

PEREIRA, C. S.; LIMA, C.; MEDEIROS, A. L.; ARANTES, S. A. C. M.; ASSIS, R. P.; FIORINI, I. V. A.; CARVALHO, G. News Techniques for the application of herbicides on soybean crops. **Revista Plantas Daninha**, Viçosa, v. 36, p. 1-7, 2018.

PORTUGUAL, J. R.; ARF, O.; LONGUI, W. V.; GITTI, D. C.; BARBIERI, M. K. F.; GONZAGA, A. R.; TEIXEIRA, D. S. **Inoculação com *Azospirillum brasilense* via foliar associada a doses de nitrogênio em cobertura na cultura do milho.** Anais.... XXIX Congresso Nacional de Milho e Sorgo, Águas de Lindóia, 2012.

QUADROS, P. D.; ROESCH, L. F. W.; SILVA, P. R. F.; VIEIRA, V.; ROERS, D. D.; CAMARGO, F. A. O. Desempenho agrônômico a campo de híbridos de milho inoculados com *Azospirillum*. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 61, n. 2, p. 209-218, 2014.

REIS, V. M. **Uso de bactérias fixadoras de nitrogênio como inoculante para aplicação em gramíneas.** Documentos: Embrapa Agrobiologia, Seropédica, n. 232, 2007, 22 p.

REIS, V. M.; BALDANI, J. I.; BALDANI, V. L.; DÖBEREINER, J. Biological dinitrogen fixation in gramineae and palm trees. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 19, p. 227-247, 2000.

RITCHIE, S. W.; HANWAY, J. J.; BENSON, G. O. **Como a planta de milho se desenvolve.** Informações Agronômicas. Piracicaba, n. 103, p. 1-20, set. 2003. Encarte. Disponível em: <[http://brasil.ipni.net/ipniweb/region/brasil.nsf/0/DE02520B8765B8D683257AA0003C46A6/\\$FILE/Encarte103.pdf](http://brasil.ipni.net/ipniweb/region/brasil.nsf/0/DE02520B8765B8D683257AA0003C46A6/$FILE/Encarte103.pdf)> Acesso em: 27 nov. 2017.

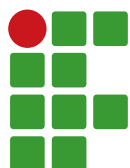
Sangoi, L.; Schmitt, A.; Zanin, C. G. Área foliar e rendimento de grãos de híbridos de milho em diferentes populações de planta. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 6, p. 263-271, 2007.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. de. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 3. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 353 p.

VALDERRAMA, M.; BUZETTI, S.; BENETT, C. G. S.; ANDREOTTI, M.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M. Fontes e doses de NPK em milho irrigado sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 2, p. 254-263, 2011.

**Received:** January 17, 2020

**Accepted:** April 30, 2020



# Agroclimatic Risk Zoning of Papaya (*Carica papaya* L.) in the Hydrographic Basin of Paraná River III, Brazil

Nathan Felipe da Silva Caldana<sup>1</sup>

Pablo Ricardo Nitsche<sup>2</sup>

Luiz Gustavo Batista Ferreira<sup>3</sup>

Alan Carlos Martelócio<sup>4</sup>

Paulo Vicente Contador Zaccheo<sup>5</sup>

Jorge Alberto Martins<sup>6</sup>

## Abstract

Brazil is the largest producer and consumer of papaya (*Carica papaya* L.) in the world. Despite modern technological and scientific advances, climate is still the most important meteorological variable in agricultural production. In this context, agroclimatic risk zoning should be one of the first things to be considered when planning cultivation. The purpose of this study was to carry out climatic risk zoning for papaya cultivation in the Basin of Paraná River III, Paraná state, Brazil. Were used meteorological data from 1976 to 2018, collected from 43 stations. The climatic risk analysis was based on the precipitation, water balance, average annual temperature, average insolation, and frost tolerance required for papaya cultivation. The occurrence of frosts is the key limiting factor for production in the study area. This meteorological factor limits the viability of papaya cultivation in the Center-East region of the Basin. In other areas, risk remains, however, the papaya is apt for cultivation.

**Keywords:** Climate aptitude. Climate variability. Agricultural planning.

## Introduction

Climate is a key variable that interferes in the establishment, propagation and adaptation of annual crops, such as soybean and fruitculture. Agroclimatic zoning defines the potential and vulnerabilities of different regions. Brazil, a predominantly tropical country, is the largest producer and consumer of papaya in the world. In 2018, 1.060 million tons of papaya were produced in Brazil (IBGE, 2019). The climate of the basin of the Paraná River III is characterized by the meteorological variability of water availability and variation in thermal regimes through the year (CALDANA et al., 2019). Despite being an economically-and agriculturally promising region for papaya cultivation, in 2018, there were no records of fruit production in the area that includes the basin, while over the same period, Paraná state, in Brazil, produced 1,600 tons of fruit, in 81.0 hectares (IPARDES, 2019).

1 Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias. Doutorando em Agronomia. [nathan.caldana@uel.br](mailto:nathan.caldana@uel.br). Rodovia Celso Garcia Cid, PR-445, Km 380 – Campus Universitário, PR, 86057-970

2 Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná (IAPAR-EMATER). Doutor em Agronomia. Pesquisador.

3 IAPAR-EMATER. Mestre em Agricultura Conservacionista. [luiz.gustavo@agronomo.eng.br](mailto:luiz.gustavo@agronomo.eng.br).

4 Instituto Cesumar de Ciência, Tecnologia e Inovação (ICETI). Pesquisador bolsista. Mestre em Agricultura. [amartelocio@agronomo.eng.br](mailto:amartelocio@agronomo.eng.br).

5 IAPAR-EMATER. Doutor em Agronomia. Pesquisador. [paulo@idr.pr.gov.br](mailto:paulo@idr.pr.gov.br).

6 Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Discente em Engenharia Ambiental. [jmartins@utfpr.edu.br](mailto:jmartins@utfpr.edu.br).

Papaya (*Carica papaya* L.) is a popular and tasty fruit plant that belongs to the Caricaceae family, and is the most important tropical and subtropical fruit currently grown in the world (AKTARUZZAMAN et al., 2018; CAMPOSTRINI et al., 2018). It is a herbaceous perennial plant, replanted for 2 to 3 years, with the fruit being the key consumer product. To achieve satisfactory quality in the fruits produced, water and temperature stand out as main keys, among other factors. To resume these factors, it can be said that the plant needs an appropriately distributed water regime during the year, along with high insolation (MATOS et al., 2012; CAMPOSTRINI et al., 2018).

The ideal altitude for papaya cultivation is approximately 200.0 m. However, it can be grown at higher altitudes, in lower temperatures, but the quality of the fruit may be affected. If the farmer cultivates papaya on these climatic conditions, the quality of the fruit produced can suffer significant losses (CAMPOSTRINI et al., 2018; PRADHAN et al., 2019; SALINAS, 2019).

According to Kist and Manica (1995), the farther a crop is grown from its ideal climate, the longer the duration of its phenological phases, with reduced growth and changes in the fruit quality. Therefore, to achieve good fruit quality while maximizing productivity and reducing risks, the applicability of studies on agrometeorological elements has been considered worldwide, in order to improve sustainable management, decision making, agricultural planning, and the cultivation of papaya in still unexplored areas (MIGLIACCIO et al., 2010; VIVAS et al., 2015; PAN et al., 2017; TREVISAN, 2017; RODRIGUES et al., 2019; SALINAS et al., 2019; SILVERIO et al., 2019; MAURYA et al., 2020; URTASUN et al., 2020).

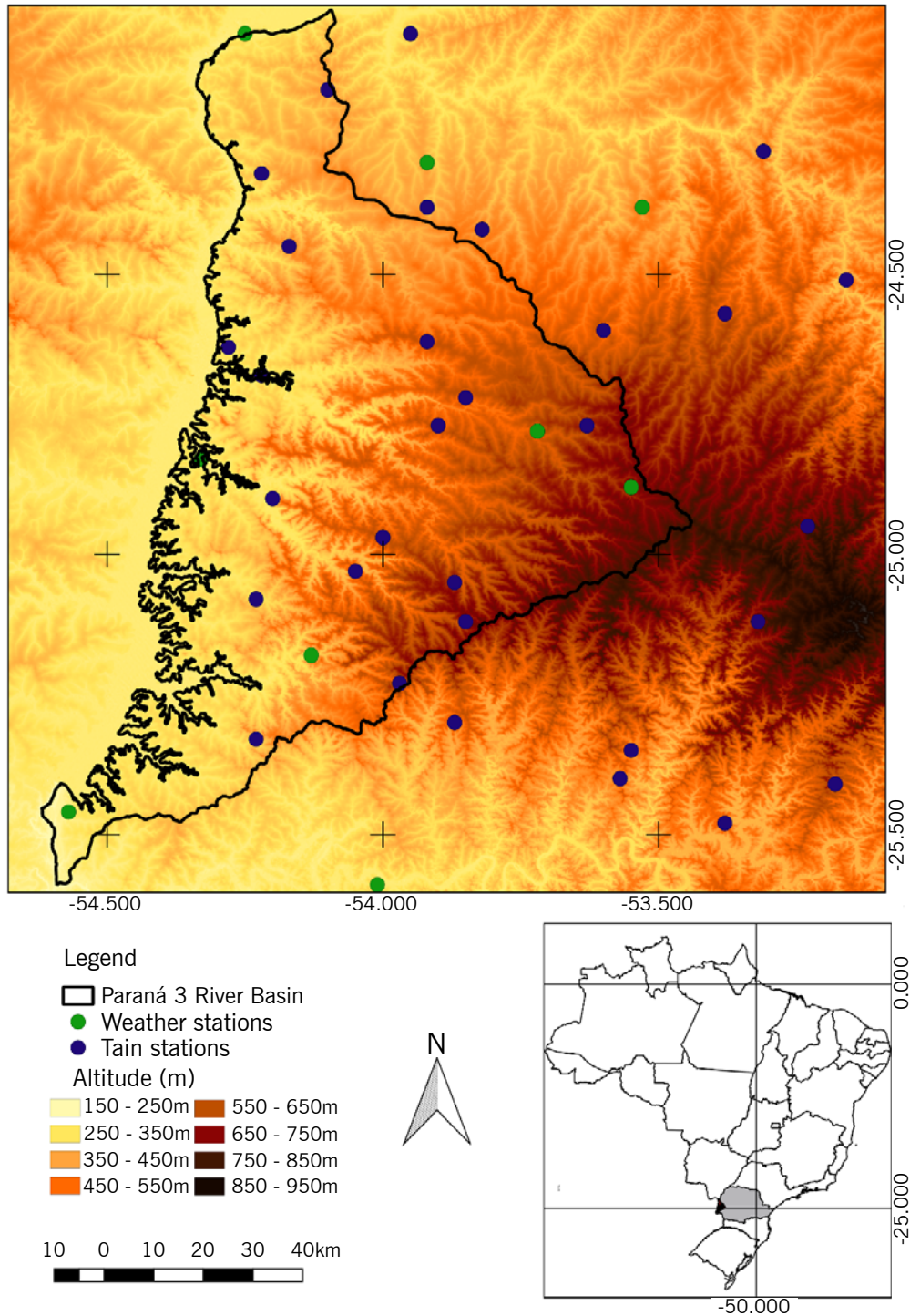
In this context, and considering the current state of papaya cultivation in the study area, the purpose of this study was to carry out agricultural zoning of climatic risk for papaya cultivation in the basin of the Paraná River III. Meteorological data from 43 stations, collected from 1976 to 2018, were used to characterize the climate in the region of the study.

## Material and methods

### Climate Variability

The hydrographic survey of the basin of the Paraná River III (FIGURE 1) shows that it is located in a Cfa climate, which means that it has a humid subtropical climate, according to the Köppen climate classification. This climate is characterized by the absence of seasonal drought, and by summers with higher average temperatures. It is controlled by tropical air masses (the Atlantic Tropical Mass and the Continental Tropical Mass) and the Atlantic Polar Mass. During the Summer, continental equatorial air masses can influence the Cfa zone and, during the Winter, the area can be influenced by the climatic front systems (NITSCHKE et al., 2019).

**Figure 01** – Hypsometry and locations of stations in the hydrographic map of the basin of Paraná River III.



**Source:** Elaborated by the authors (2020).

For this study, the hydroclimatic conditions required by the target species, as well as the annual, seasonal, monthly and daily time series of weather data clipped from 1976 to 2018 were chosen to be researched. In order to analyze climate variability and produce a climate risk zoning map, data from meteorological stations distributed around the basin were used. The database is comprised of data from numerous weather stations, including six IAPAR stations (Instituto Agronomico do Paraná),

with available data from 1976 to 2018; ten SIMEPAR stations (Sistema Meteorológico do Paraná), with available data from 2000 to 2018, included to bolster analyses, despite the shorter time period; and 27 Águas Paraná stations, with available data from 1976 to 2018. To a better understanding of the stations (Figure 1).

For this study, data from stations that had long-term data series (1976–2018) were used. The spatialization of the data was done via interpolation, which is an effective method for spatial visualization of climate data. This was done using isohyets and spatially filling the values through adjusted regression statistics, using the inverse distance weighted spatial interpolation algorithm (LEM et al., 2013). The maps were created using the QGIS software.

The punctual data of the rainfall stations were entered into the QGIS software and transformed into a raster file with the aid of the IDW interpolator. This new file displayed a regular surface adjusted to points of data of interest with a spatial resolution pixel of 1.0 km by 1.0 km. Subsequently, isohyets and their values were added for better visualization of areas with similar precipitation patterns and/or insolation, and to regionalize the stations. The distribution of annual precipitation was also evaluated, using one station by region: Missal (West), Cascavel (South), Vera Cruz do Oeste (Center), Foz do Iguaçu (South), and Terra Roxa (North).

The Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) model map was used as a base to apply the meteorological values, accepting 30.0 m scale, considering the temperature. This method was necessary to spatialize and regionalize data in areas that do not have accurate temperature data.

For the spatialization of ‘average temperature’ and ‘frost’ data, multiple linear regression equations and the climatic factors latitude, longitude and longitude were used. Thus, we got a regression equation  $y = a + b.lat + c.long + d.alt$ , at which a, b, c, d are regression coefficients. This mathematical formula was applied to the SRTM file in ArcGIS geoprocessing software, enabling the creation of maps with a spatial resolution of 30.0 m.

Rainfall data (from the monthly totals of each year) and the monthly average temperature (from the monthly averages of the daily values of each year) were extracted. Potential evapotranspiration (PET) was then calculated according to the Thornthwaite method. First, the standard potential evapotranspiration (PET, mm/month) was calculated, using the empirical formula:

$$\text{For: } 0 < T_n < 26.5 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (1)$$

$$PET = \left( 10 \frac{T_n}{I} \right)^a \quad (2)$$

$$\text{For: } T_n \geq 26.5 \text{ } ^\circ\text{C} T_n^2 \quad (3)$$

$$PET = -415.85 + 32.24 T_n - 43.0 T_n^2 \quad (4)$$

at which:  $T_n$  is the average temperature of month ‘n’ (where  $n = 1$  is January,  $n = 2$  is February, etc.) in  $^\circ\text{C}$ , and  $I$  is an index that expresses the heat level of the region.

The value of  $I$  is dependent on the annual temperature cycle, considering the thermal effect of each month, and is calculated using the formula



$$I = 12(0.2 Ta)^{1514} \quad (5)$$

The exponent “a”, being a function of I, is also a regional thermal index, and is calculated using the expression

$$\alpha = 0.49239 + 1.7912 \times 10^{-2} I - 7.71 \times 10^{-5} I^2 + 6.75 \times 10^{-7} I^3 \quad (6)$$

The PET value represents the total monthly potential evapotranspiration that would occur under the thermal conditions of a standard 30-day month, with a 12-hour photoperiod (N) for each day. Therefore, PET should be corrected for N and the number of days in the period.

$$COR = \left(\frac{N}{12}\right) \left(\frac{NDP}{31}\right) \quad (7)$$

### Agroclimatic risk zoning

The factors selected for agroclimatic risk zoning were:

- a. *Annual precipitation*: Data on monthly and annual precipitation from a series of 27 meteorological stations located in the river basin were used. The results obtained were interpolated in a geographic information, through the IDW. Risk was classified as follows: ‘high risk’ as annual precipitation of less than 1,200 mm, and ‘low risk’ as annual precipitation greater than 1,200 and less than 3,100 mm annually, distributed throughout the year (FONSECA et al., 2004).
- b. *Annual Water Deficiency (AWD)*: AWD was estimated using the method described by Thornthwaite and Matter (1955), and obtained by calculating the normal climatological water balance for the meteorological stations. A value of 100 mm for the available water capacity in the soil was used, as the avocado root system penetrates the soil profile to a depth of more than 1.0 m [26]. The results obtained were interpolated using the ArcGIS 10.0 geographic information system to generate annual water deficit maps. The water deficiency risk associated with the following thresholds are as follows: ‘high risk’ – AWD > 80 mm; ‘low risk’ – AWD < 80 mm (FONSECA et al., 2004).
- c. *Average Annual Temperature (Ta)*: Meteorological data from a historical series of average temperatures recorded inside meteorological shelters were used to estimate the average annual temperature. Using the Ta value, a regression was applied to the entire river basin as a function of latitude, longitude, and altitude. The risk associated with different annual temperatures are as follows: High Risk: Ta below to 22°C e Low Risk: Ta from 22°C to 26°C (COELHO FILHO et al., 2011; DANTAS e JUNGHANS, 2013).
- d. *Relative humidity*: The upper limit of the high risk of > 85.0 % and the lower limit for a drought of < 60.0 % was considered. High values of relative humidity grow the risks of the fungal diseases of the plants (FONSECA et al., 2004; COELHO FILHO et al., 2011; DANTAS e JUNGHANS, 2013).
- e. *Frost Risk*: Meteorological data from the historical series from the weather stations were used, taking into account occurrences of temperatures of 1.0 °C or below recorded in meteorological shelters, to calculate the risk of frost. The probability of annual frost occurring



was calculated and compared with altitude and latitude, resulting in a regression equation for the risk of frost. Using adjusted regressions, probability values exceeding 20.0 % indicated a high frost risk (COELHO FILHO et al., 2011; DANTAS e JUNGHANS, 2013).

To create the thematic maps and the final zoning map, ArcGIS software was used. First, the numerical values from the meteorological stations were transformed into points according to their geographical coordinates. Then, edaphoclimatic requirements of the avocado species for data spatialization were used, in order to delimit the representative bands of the avocado climate requirements. Thus, the station values were replaced by apt (1) or inapt (2), according to the papaya physiological requirements for each meteorological variable analyzed. Later, papaya cultivation aptitude in the Basin of Paraná River III were classified in 1 or 2.

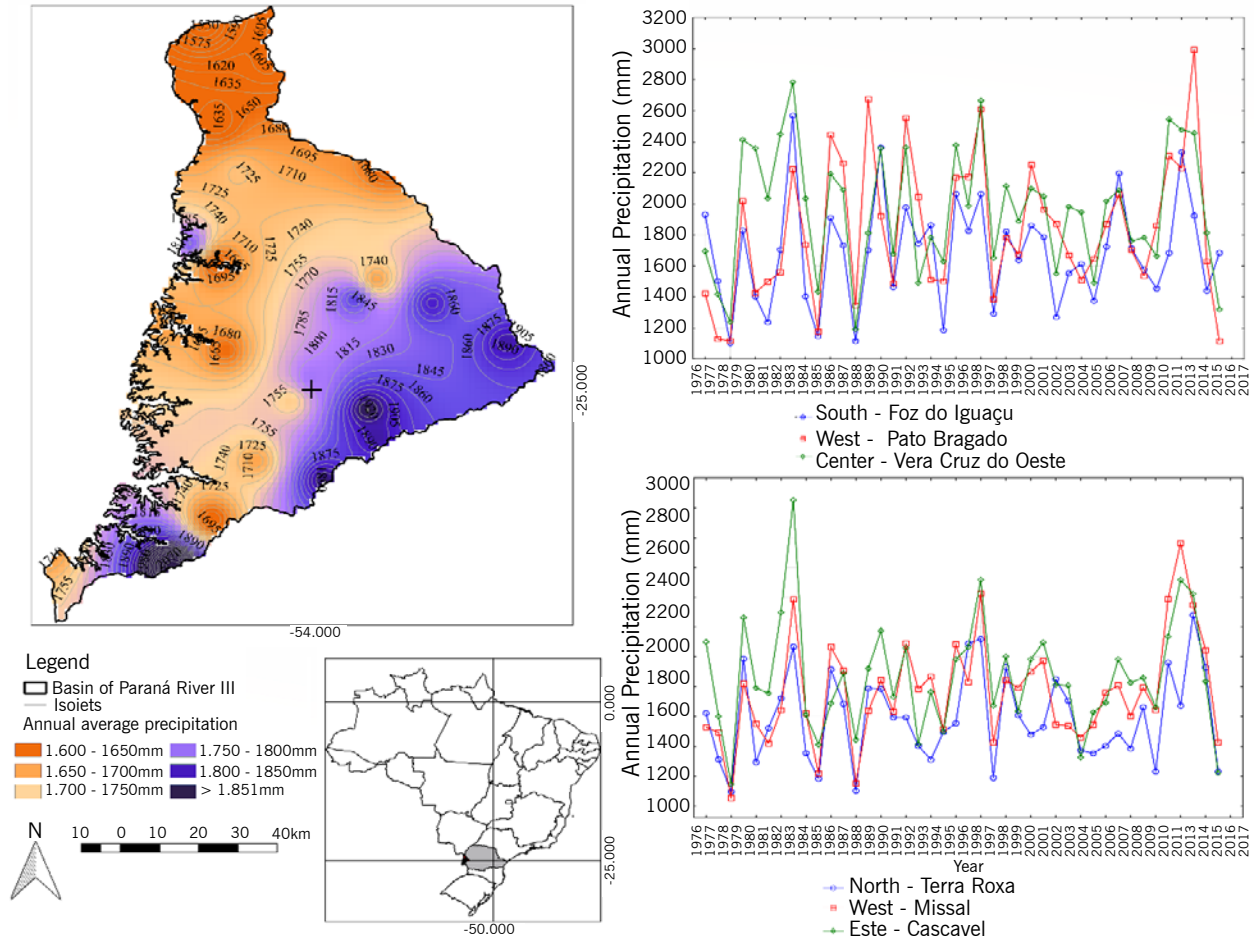
Subsequently, standardization of the pixel classifications was performed by dissolving the vector classes. In this way, agroclimatic zoning classes were grouped, thus defining regions of suitability for the target species. The final map showing the agroclimatic zoning fitness for each crop provided an estimate of the area represented by each risk class, informing its suitability for cultivation at the site.

## Results and discussion

Precipitation is not a limiting factor for papaya cultivation in the basin of Paraná River III (Figure 2). We verified the variability of precipitation from 1,200.0 mm to 1,680.0 mm, in the northern end of the basin.

Few areas recorded less than 1,200.0 mm of precipitation, even in the dryer regions of the basin. Foz do Iguaçu and Missal stations, located in the southern and western edges respectively, presented only three incidences of low precipitation each. All stations recorded an annual precipitation average exceeding 1,000.0 mm.

**Figure 2** – Annual rainfall average in the hydrographic map of basin of the Paraná River III.

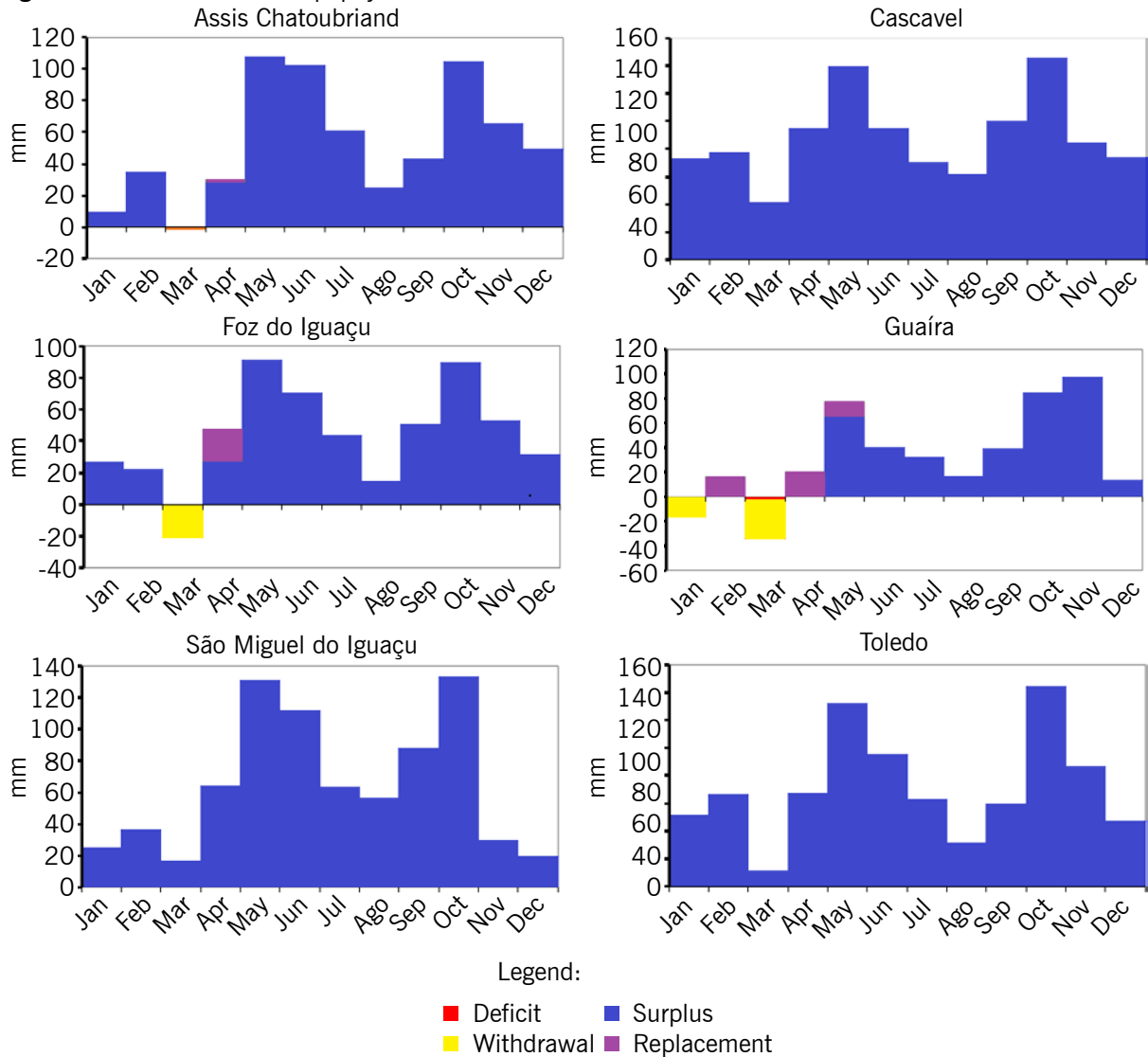


**Source:** Elaborated by the authors (2020).

The papaya is a plant that requires a significant quantity of water during both periods of the growth cycle: vegetative and reproductive. Thus, it is necessary to meet the water needs of the plant by installing irrigation systems in areas characterized as 'dry' or that suffer from an irregular distribution of precipitation. As the papaya is sensitive to excess water, the farmer should avoid flood irrigation (DANTAS and JUNGHANS, 2013). In the Paraná River III basin, is possible to know that the water necessary for papaya cultivation is available after checking the water balance (Figure 3).

We verified that no weather station presented risk of droughts periods for papaya cultivation, in the basin of Paraná River III. The municipality of Guaíra, which had the greatest water deficiency, had a AWD value of 56.0 mm. However, the water balance for the months January to April is less favorable when compared with the other months, due the average temperature and evapotranspiration, that are greater in January to April. Thus, the farmer have to pay attention and provide irrigation when necessary.

**Figure 3** – Water balance for papaya in the basin of Paraná River III.

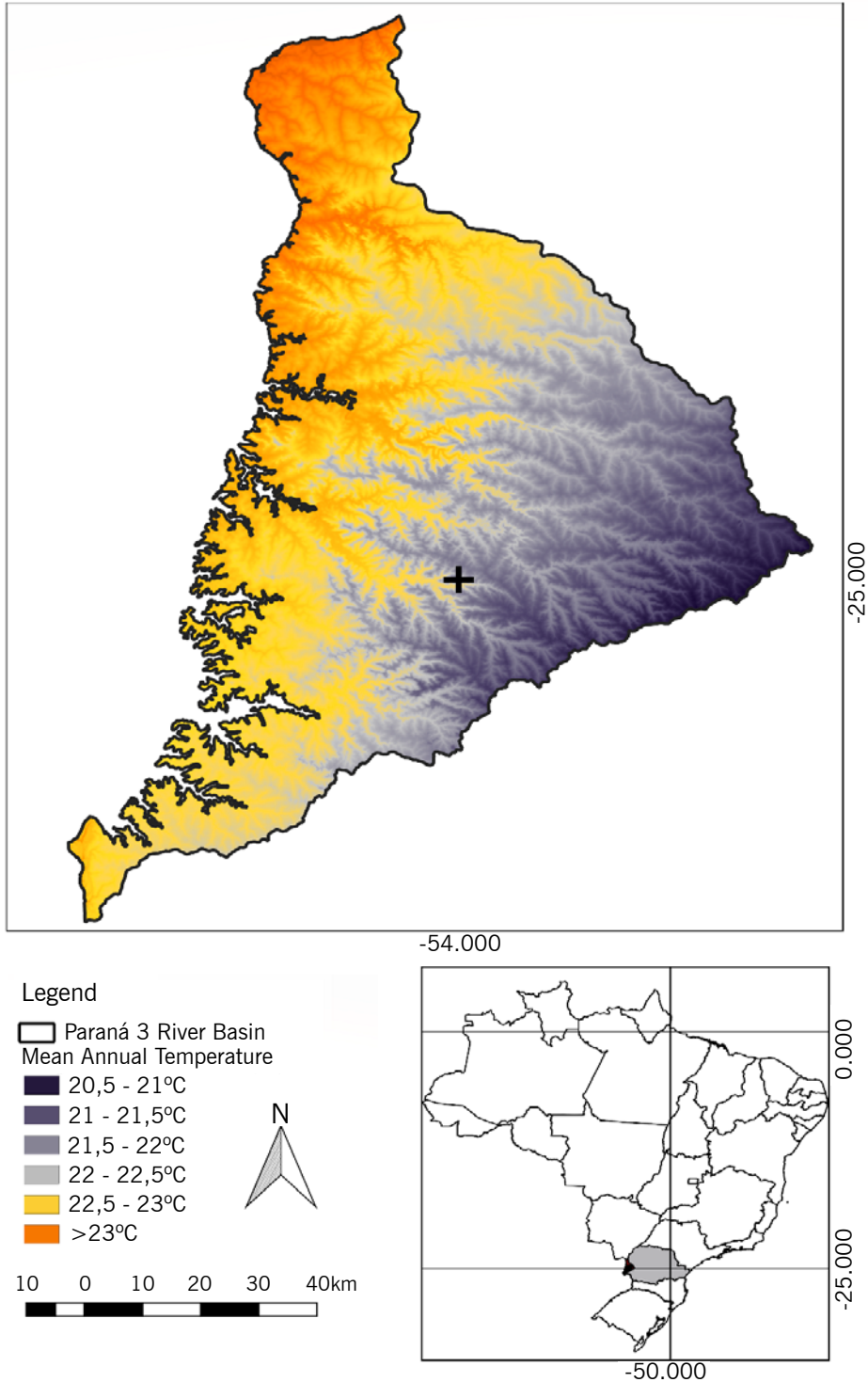


**Source:** Elaborated by the authors (2020).

The optimum temperature for papaya cultivation ranges from 22.0 °C to 26.0 °C. Because of that, papaya is considered as a tropical plant (DANTAS; JUNGHANS, 2013). It was verified that the altitude is a key factor for the temperature variability (FIGURE 4). The Central-East of the hydrographic basin of Paraná River III showed average temperature at approximately 21.0 °C. That means this region of the basin is an inapt area for papaya cultivation.

The highest average temperatures (over 23.0 °C) were observed in the Guaíra region, in the northern end of the river basin. The light gray strip on the map shows the portion suitable for the development of papaya cultivation in the region. This covers the entire western portion close to the Paraná River.

Figure 4 – Annual average temperature in the basin of Paraná River III.



Source: Elaborated by the authors (2020).

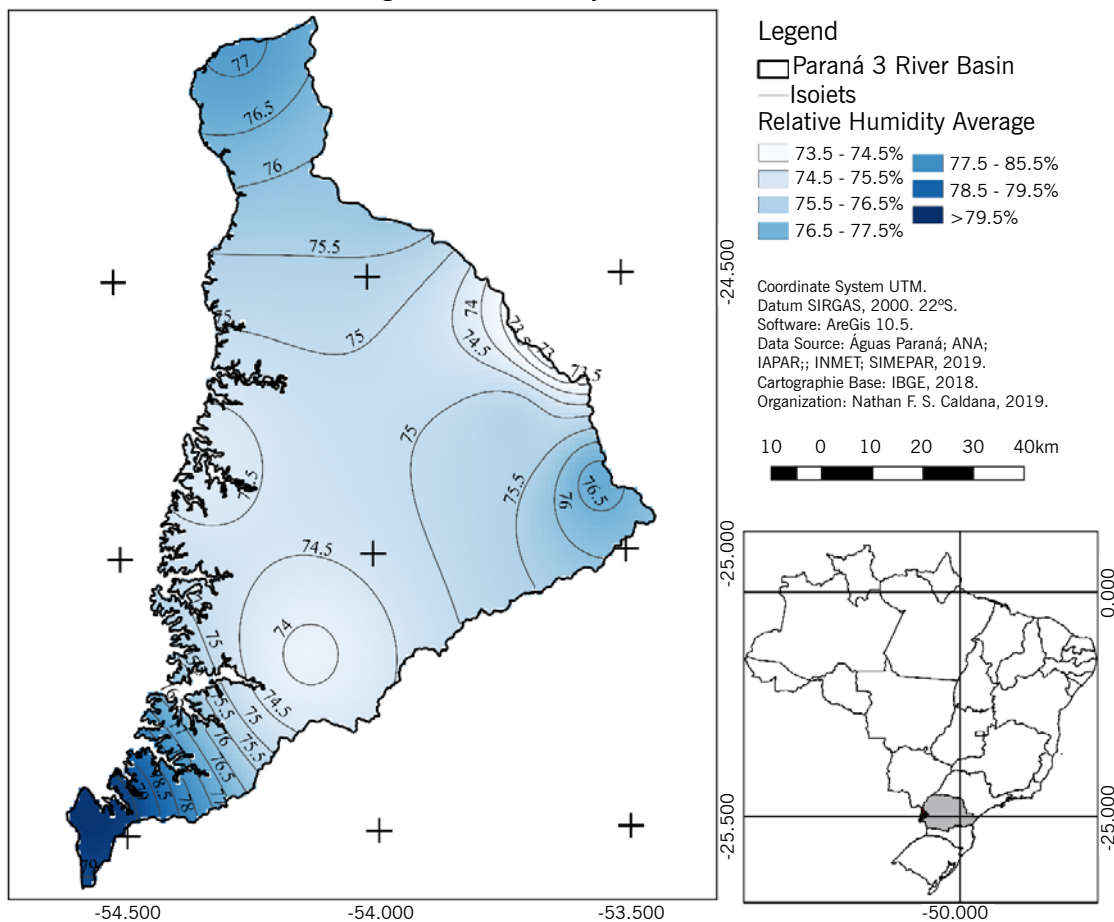
Coelho Filho et al. (2011) studied the climatic suitability of papaya cultivation and the impact of climate change for the Bahia state, Brazil. For these authors, 900.0 mm are sufficient for papaya cultivation. Also, they made a projection where, in 2070, papaya will be cultivated in almost 100.0% of the area of the Bahia state, due the IPCC projections, that are indicating significant increase of the

average temperature for that area, changing and inapting other crops that nowadays are cultivaded in Bahia state (COELHO FILHO et al., 2011).

High humidity (FIGURE 5), in conjunction with relatively low temperatures, predisposes crops to getting aggressively attacked by fungi and viruses. The maximum humidity level classified as suitable for planting papaya is 85.0 %, while the minimum, which is linked with water levels too low to meet the requirement of the plants, is 60.0 %.

The average relative humidity in the region is highest in Foz do Iguaçu, located on the edges of the Iguaçu and Paraná River. In this location, the humidity reached 79.0 %. At the edges of the region, close to the municipality of Assis Chateaubriand, there was a decrease in humidity, dropping to 73.0%. Thus, none of the regions are limited by relative humidity levels, and they should plan to cultivate papayas.

**Figure 5** – Distribution of annual average relative humidity in the basin of Paraná River III.

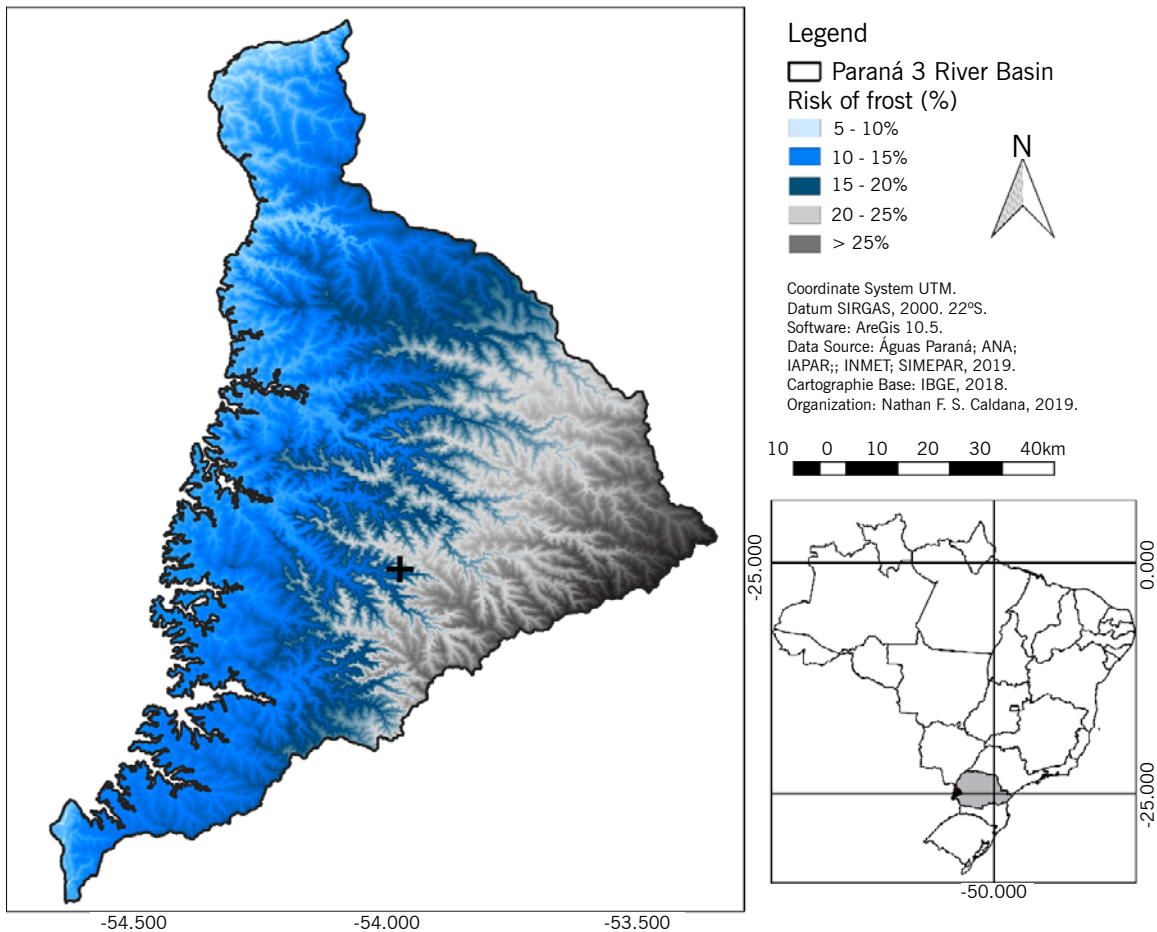


**Source:** Elaborated by the authors (2020).

At low temperatures, the papaya stops its vegetative development, reducing flowering, delaying ripening, and producing low-quality fruit. Cold winds and frost can cause leaf scorch, reducing the area available for photosynthesis and, consequently, decreasing papaya production. Thus, the occurrence of frost is the main parameter that should be considered when planning papaya planting, as it is considerably harmful for the cultivation of papaya.

The frost risk in the region (FIGURE 6) showed a distribution similar to the average temperature, with greater frost risk present in the eastern area, close to the municipalities of Cascavel and Santa Tereza do Oeste, in the upper portion of the basin, as well as in some valley bottoms in the central region. The central portion of the basin presented a 10.0 to 20.0 % frost risk, while in the lower portions, close to the valley of the Paraná River, mainly along the north-south axis from Guaíra/Terra Roxa to Foz do Iguaçu/Santa Terezinha de Itaipu, the risk falls to about 5.0 %.

**Figure 6** – Frost risk in the basin of Paraná River III.



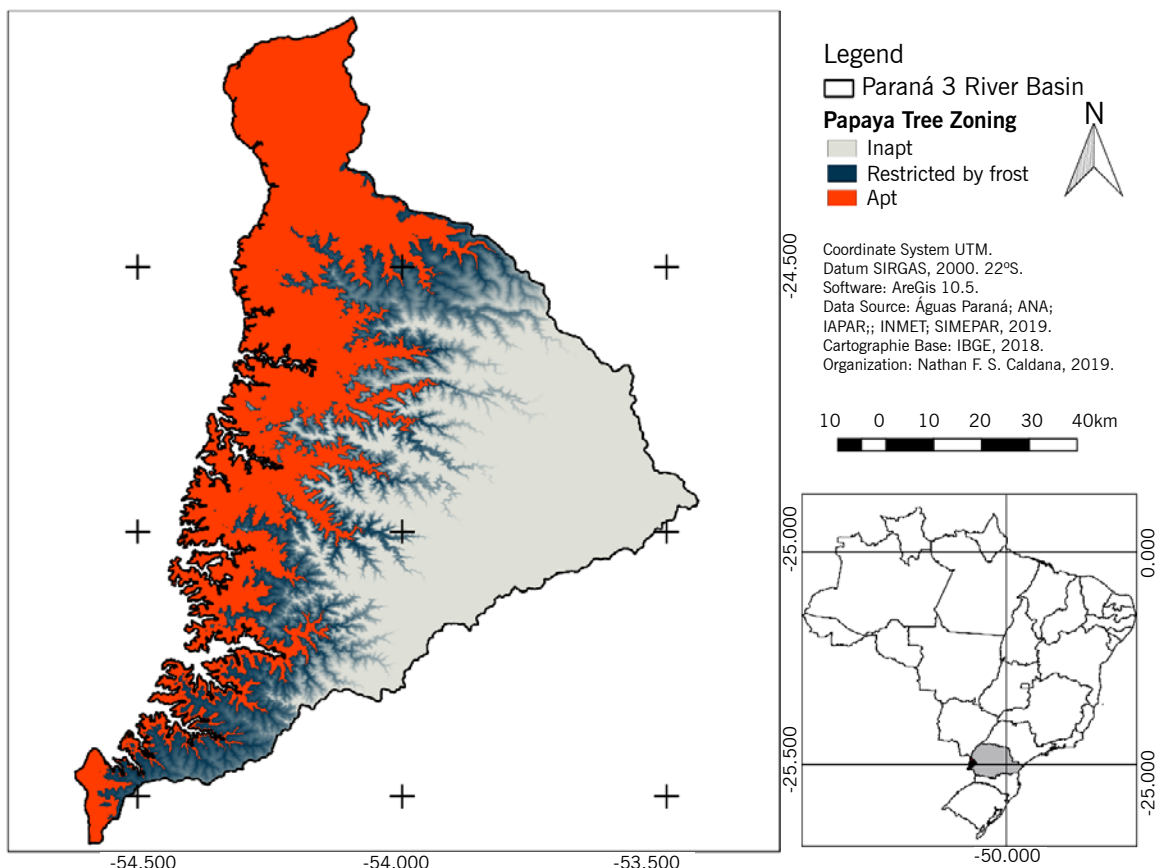
**Source:** Elaborated by the authors (2020).

The final agroclimatic zoning map (FIGURE 7) shows limitations due to the average temperature, which interferes with the biological cycle of the papaya, and frost can cause the senescence of the species.

Thus, the highest region and, consequently, the coldest, has restriction for the cultivation of papaya. The entire central and eastern region of the basin has also been classified as unsuitable. A small area located at intermediate ranges was classified as restricted, since the risk of frost occurring was 10.0 %.



**Figure 7** – Agroclimatic risk zoning of papaya (*Carica papaya*) in the basin of Paraná River III.



**Source:** Elaborated by the authors (2020).

Even in suitable regions, there is a risk of frost, so producers must avoid valley bottoms, and give preference to cultivation in areas that are not very sloped, to facilitate the displacement of cold air. Preferably, the top of the relief and the top half of a slope should be cultivated, particularly north-facing areas, since, as highlighted, the cold front is preferentially displaced in the south-southwest and northeast directions (CALDANA et al., 2018; CALDANA et al., 2019; CALDANA; MARTELÓCIO, 2019).

For cultivation in non-viable areas without irrigation, seedlings must be sown in the field at the beginning of the rainy season and planted on cloudy or rainy days. Papaya will begin producing fruits about 8 to 10 months after seedlings are planted in the field, depending on the region.

It should be noted that zoning does not completely eliminate risks; it simply identifies conditions more favorable for the development of papaya plantations. Agriculture is a risky activity, and like all other activities, it is susceptible to extreme climate events, which may cause issues for farmers. In the context of sustainable agriculture and climate change, agroclimatic zoning provides guidance and some level of confidence in decision-making and agricultural planning in the Paraná River III basin.

## Conclusions

The basin of Paraná River III has a small strip of land in the western portion that poses a low climatic risk for papaya cultivation, mainly in the areas at lower altitudes on the edges of the Paraná River.



Precipitation and water balance were sufficiently low-risk in all scenarios studied for papaya cultivation.

The greatest limiting factors for production are the occurrence of frost, as frost damages the tree and the fruits; and the average temperature, which restricts the development and growth of the species. Thus, the cultivation of papaya is restricted by these factors at the central-eastern portion of the basin.

Management techniques can be used to minimize the risk of frost. Avoiding areas with a significant probability of frost occurrence can better guarantee success for the cultivation of papaya in the region.

## Acknowledgments

The authors would like to thank the Itaipu Binacional, Projeto Ibitiba and Fundação de Apoio a Pesquisa e Desenvolvimento do Agronegócio (FAPEAGRO) for granting a scholarship to the first author.

## Zoneamento de Risco Agroclimático do Mamoeiro (*Carica Papaya* L.) na Bacia Hidrográfica do Rio Paraná III

### Resumo

O Brasil é o maior produtor e consumidor mundial de mamão. A fruticultura é um segmento de destaque da agricultura brasileira. Apesar dos recentes avanços tecnológicos e científicos, o clima é ainda a variável mais importante na produtividade agrícola. Nesse contexto, o zoneamento agroclimático deve ser uma das primeiras informações a serem consideradas ao iniciar o cultivo de determinada cultura. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi realizar o zoneamento de risco agroclimático para o Mamoeiro (*Carica Papaya* L.) na bacia do Rio Paraná III, estado do Paraná. Para isso, foram utilizados dados meteorológicos de 43 estações com recorte temporal de 1976-2018. A análise do risco agroclimático foi pautada nas exigências da espécie, sendo estas: precipitação, deficiência hídrica anual, temperatura média anual, insolação e risco de geada. A ocorrência de geadas foi o fator mais limitante para a produção na região. Esse fator meteorológico restringiu o plantio na porção centro-leste da bacia. Nas demais áreas, o risco é presente, mas foi garantida a aptidão para o plantio do mamoeiro.

**Palavras-chave:** Aptidão climática. Variabilidade Climática. Planejamento Agrícola.

### References

AKTARUZZAMAN, M.; AFROZ, T.; LEE, Y. G.; KIM, B. S. Post-harvest anthracnose of papaya caused by *Colletotrichum truncatum* in Korea. **European journal of plant pathology**, v. 150, n. 1, p. 259-265, 2018.

CALDANA, N. F. S.; JUNIOR, G. M. Y.; DE MOURA, D. A. V.; DA COSTA, A. B. F.; CARAMORI, P. H. Ocorrências de Alagamentos, Enxurradas e Inundações e a Variabilidade Pluviométrica na Bacia Hidrográfica do Rio Iguaçu. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 23, p. 343-355, 2018.

CALDANA, N. F. S.; MARTELÓCIO A. C. Gênese, frequência e intensidade das precipitações de granizo nas Mesorregiões Centro Oriental e Sudeste Paranaense, Brasil. **Geo textos**, v. 15, p. 205-229, 2019.

CALDANA, N. F. S.; NITSCHKE, P. R.; MARTELÓCIO, A. C.; RUDKE, A. P.; ZARO, G. C.; BATISTA FERREIRA, L. G.; MARTINS, J. A. Agroclimatic Risk Zoning of Avocado (*Persea americana*) in the Hydrographic Basin of Paraná River III, Brazil. **Agriculture**, v. 9, n. 263, p. 1-11, 2019.

CAMPOSTRINI, E.; SCHAFFER, B.; RAMALHO, J. D.; GONZÁLEZ, J. C.; RODRIGUES, W. P.; DA SILVA, J. R.; LIMA, R. S. Environmental Factors Controlling Carbon Assimilation, Growth, and Yield of Papaya (*Carica papaya* L.) Under Water-Scarcity Scenarios. In: Water scarcity and sustainable agriculture in semiarid environment. **Academic Press**, 2018. p. 481-505.

COELHO FILHO, M. A.; DA SILVA, T. S. M.; DE ALMEIDA, C. O.; ALBUQUERQUE, A. F. A.; SILVA, O. S. M. da. **Impacto do aquecimento global na aptidão do Estado da Bahia para o cultivo do mamoeiro**. Cruz das Almas, BA: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2011.

DANTAS, J. L. L.; JUNGHANS, D. T. **Mamão: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília, DF: Embrapa, 2013.

FONSECA, E. L.; BOLFE, E. L.; DA SILVA JÚNIOR, J. F. **Zoneamento agrícola para espécies frutíferas tropicais do Centro-Sul do Estado de Sergipe-Abacaxi, Banana, Mamão e Mangaba**. Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2004.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **Estatísticas da Produção Agrícola**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/lspa/tabelas>. Acesso: Dezembro de 2019.

Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social - IPARDES. **Produção de Mamão**. Disponível em: <http://www.ipardes.gov.br/imp/index.php>. Acesso: dez. 2019.

KIST, H.; MANICA, I. Densidades de plantio, crescimento e produção do mamoeiro Formosa (*Carica Papaya* L.) em Porto Lucena, RS. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 30, n. 5, p. 657-666, 1995.

LEM, S.; ONGHENA, P.; VERSCHAFFEL, L.; VAN DOOREN, W. The heuristic interpretation of box plots. **Learning and Instruction**, v. 26, p. 22-35, 2013.

MATOS, A. P. de; BORGES, A.; OLIVEIRA, D. D. A.; SANTOS, G. R.; CAMPOS, G.; GEBLER, L.; CORDEIRO, Z. **Produção integrada de fruteiras tropicais**. Embrapa Mandioca e Fruticultura-Livro científico (ALICE), 2012.

MAURYA, N. K.; GOSWAMI, A. K.; SINGH, S. K.; PRAKASH, J.; GOSWAMI, S.; CHINNUSAMY, V.; TALUKDAR, A.; PRADHAN, S.; KUMARI, A. Studies on expression of CBF1 and CBF2 genes and anti-oxidant enzyme activities in papaya genotypes exposed to low temperature stress. **Scientia Horticulturae**, v. 261, p. 108914, 2020.

MIGLIACCIO, K. W.; SCHAFFER, B.; CRANE, J. H.; DAVIES, F. S. Plant response to evapotranspiration and soil water sensor irrigation scheduling methods for papaya production in south Florida. **Agricultural water management**, v. 97, n. 10, p. 1452-1460, 2010.

NITSCHKE, P. R.; CARAMORI, P. H.; RICCE, W. D. S.; PINTO, L. F. **Atlas Climático do Estado do Paraná**. Londrina, PR: Instituto Agrônômico do Paraná - IAPAR. 2019. Disponível em: <http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=677>. Acesso em: 21 dez. 2019

PAN, Y. G.; YUAN, M. Q.; ZHANG, W. M.; ZHANG, Z. K. Effect of low temperatures on chilling injury in relation to energy status in papaya fruit during storage. **Postharvest Biology and Technology**, v. 125, p. 181-187, 2017.

PRADHAN, S.; GOSWAMI, A. K.; SINGH, S. K.; PRAKASH, J.; GOSWAMI, S.; CHINNUSAMY, V.; TALUKDAR, A.; MAURYA, N. K. Low temperature stress induced physiological and biochemical alterations in papaya genotypes. **South African Journal of Botany**, v. 123, p. 133-141, 2019.

RODRIGUES, L. G. G.; MAZZUTTI, S.; VITALI, L.; MICKE, G. A.; FERREIRA, S. R. S. Recovery of bioactive phenolic compounds from papaya seeds agroindustrial residue using subcritical water extraction. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 22, p. 101367, 2019.

SALINAS, I.; HUESO, J. J.; CUEVAS, J. Fruit growth model, thermal requirements and fruit size determinants in papaya cultivars grown under subtropical conditions. **Scientia horticulturae**, v. 246, p. 1022-1027, 2019.

SILVERIO, T. C.; MARTELLETO, L. A. P.; REZENDE, N. C.; PIVOTO, H. C.; FERREIRA, L. I. Influência das variáveis climáticas na incidência da varíola do mamoeiro "Sunrise Golden" em diferentes densidades de cultivo sob manejo orgânico de produção. **Revista Agrogeoambiental**, v. 10, n. 4, 2019.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. The water balance. Centerton: Drexel Institute of Technology, Laboratory of Climatology, 1955. 104p. **Publications in climatology**, v. 8, n. 1, 1955.

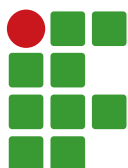
TREVISAN, E. **Microclima sob a copa do mamoeiro cultivado com café e em diferentes orientações de plantio, ao longo do ano**. Dissertação de mestrado defendida na Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória 2017.

URTASUN, M. M.; GIAMMINOLA, E. M.; BASKIN, C. C.; VIANA, M. L. de; MORANDINI, M. N.; LAMAS, C. Y.; ROJAS, M. F. Dormancy release, germination and ex situ conservation of the southern highland papaya (*Vasconcellea quercifolia*, Caricaceae), a wild crop relative. **Scientia Horticulturae**, v. 263, p. 109-134, 2020.

VIVAS, J. M. S.; VIVAS, M.; SILVEIRA, S. F. da. Effect of temperature on in vitro growth and sporulation of hyperparasites fungi of *Asperisporium caricae*. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, n. 1, p. 73-81, 2015.

**Received:** January 22, 2020

**Accepted:** May 04, 2020



# Rare earth and bird cartridge compost in coffee change development

Luiz Gustavo Rosa Freire<sup>1</sup>

Paula Tristão Santini<sup>2</sup>

Mariana Fávero Silva<sup>3</sup>

Anna Lygia de Rezende Maciel<sup>4</sup>

## Abstract

The use of alternative composting, such as animal carcasses, is viable for the final disposal of these wastes. Rare Earth Elements (REEs) are a homogeneous group of 17 chemical elements in the periodic table that are essential for many industries. The objective of this work was to evaluate the influence of poultry carcass compost and REEs on the development of coffee seedlings. The study was carried out at IFSULDEMINAS – Campus Muzambinho, from July 2018 to January 2019. The experimental design was a randomized complete block design (DBC) in a 3x5 factorial scheme, with four replications and 21 plants per plot central. The treatments consisted of different concentrations of poultry carcass compost (0, 150 and 300 L m<sup>-3</sup>) and dosages of REEs (*mix* 1, 2, 3, 4 and 5). Mixing was performed on the seedlings when they reached the second leaf pair. Evaluations were performed at 180 days after sowing, evaluated by: plant height, stem diameter, leaf number and leaf area. The data obtained were submitted to variance analysis using the *S/STAR* software, and the significant difference between treatments was determined by the F test. Detecting differences between treatments by the Scott-Knott test. It was observed that the 150 m<sup>-3</sup> dosage of poultry carcass compost showed a significant increase in plant height (16.68 cm), stem diameter (3.29 cm) and leaf area (248.99 cm<sup>2</sup>). However, for the variable number of leaves, no significant difference was observed between the procedures. The use of poultry carcass compost at 150 liters m<sup>-3</sup> promotes greater seedling development. The addition of REEs at the doses used does not affect the development of coffee plants.

**Keywords:** Cerium. *Coffea arabica*. L. Lanthanum. Organic composting.

## Introduction

The production of healthy seedlings is one of the fundamental factors for the success of coffee growing, since their quality directly influences the formation of the root system and the aerial part of the plant species, and consequently, the plant behavior in the field (VALLONE, 2010). In addition to

1 Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais (IFSULDEMINAS) – *Campus* Muzambinho. Estudante do curso de Engenharia Agrônoma. [luizgrosafreire@gmail.com](mailto:luizgrosafreire@gmail.com). Estrada de Muzambinho, km 35- Bairro Morro Preto, Caixa Postal 02, CEP 37890-000.

2 Universidade Federal de Lavras (UFLA), Departamento de Biologia. Pesquisadora vinculada ao Grupo de Estudos em Cafeicultura. [paulatsantini@gmail.com](mailto:paulatsantini@gmail.com).

3 Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais (IFSULDEMINAS) – *Campus* Muzambinho. Estudante do curso de Engenharia Agrônoma. [marianafavero20@gmail.com](mailto:marianafavero20@gmail.com)

4 Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais (IFSULDEMINAS) – *Campus* Muzambinho. Professora Doutora do curso de Engenharia Agrônoma. [anna.lygia@muz.ifsuldeminas.edu.br](mailto:anna.lygia@muz.ifsuldeminas.edu.br).

surviving the adverse conditions found in the field, they must develop, form vigorous plants, as they remain in the field for an average of 20 years (COGO et al., 2018). When this stage is well conducted, there is a more sustainable activity, with higher productivity and lower costs. However, there is a need to better understand the behavior of coffee seedlings both in the nursery phase and in the planting period, as this can determine the success or failure of the enterprise (BALIZA et al., 2010).

The production of coffee seedlings usually occurs through polyethylene bags and substrate consisting of 70.0 % subsoil and 30.0 % cattle manure and in addition to fertilization with chemical fertilizers, which usually have some source of phosphorus and potassium. (FREITAS et al., 2006). The choice of these components has a direct effect on the development of coffee seedlings (VALLONE et al., 2010), since these are the primary source of nutrients, water and a place of support for the plant (COGO et al., 2018).

Among the various sources of organic matter is composting that uses higher carbon/nitrogen (C:N) paly organic materials mixed with nitrogen-rich inoculants, such as animal manure. This incorporation of poor materials that occur in large quantities, but take a long time to decompose, allows for increased final fertilizer volume and nitrogen conservation of low C:N ratio materials during decomposition, which release this nutrient in ammoniacal form. At the end of composting, the composted mass is reduced by one third, because part of the organic carbon is lost as CO<sub>2</sub> (KIEHL, 2001). Several materials can be used in the manufacture of organic compounds, depending on their availability. Given the characteristics of organic compounds to retain nutrients and release them to the soil solution when there is their biochemical degradation, they can contribute to the reduction in mineral fertilizer splittings, thus reducing labor costs, besides ensuring greater efficiency in the fertilization of agricultural crops (PRIMO et al., 2010).

The use of agro-industrial waste for seedling production, in addition to reducing production, presents environmental advantages, utilization of waste, the disposal of which could represent a negative impact on the environment (SILVA et al., 2010). This alternative, such as sewage sludge, animal carcass and urban tree pruning as substrate components, is a viable alternative for the final disposal of these residues, in view of the economics of fertilizers and substrates that this compost can provide environmental benefits, mitigate the pollution of rivers and lakes and the reduction of soil contamination levels (TRIGUEIRO; GUERRINI, 2003). Rodrigues et al. (2012) concluded that organic compost from carcass and slaughtering of goats and sheep altered soil fertility, promoting elevation of B and S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>. Manure of avian origin, compared to that of other animals, has a higher availability of nutrients, mainly nitrogen (COGO et al., 2018).

Today, much is used for phosphate fertilizers in agriculture. In the extraction of these fertilizers, comes together in its constitution elements called Rare Earths. These rare earth elements (REE) are a homogeneous group of 17 chemical elements in the periodic table that are essential for many modern industries. Also, in recent years, they have been used in agriculture. Of these elements, 15 belong to the group of lanthanides with atomic numbers between Z = 57 and Z = 71, as follows: Lanthanum (La), Cerium (Ce), Praseodymium (Pr), Neodymium (Nd), Promethium (Pm), Samarium (Sm), Europium (I), Gadolinium (Gd), Terbium (Tb), Dysprosium (Dy), Holmium (Ho), Erbium (Er), Thulium (Tm), Ytterbium (Yb) and Lutetium (Lu) (IUPAC, 2005). According to CHANG (1991), some research papers have evaluated the effects of REEs on soil attributes and plant growth. The application of these elements was related to increases in calcium and manganese bioavailability in the soil (RAMOS et al., 2016).

Much information is already available on the physiological effects of REEs on plants, particularly on membrane stability, oxidative stress, hormonal balance, enzyme production and activity, amino acid production, increased chlorophyll content and photosynthetic rate, nutrient uptake, increased tolerance to biotic and abiotic stresses, as well as synergistic and antagonistic effects on the absorption of nutrients such as N, K and P, even in the presence of low concentrations (SHYAM; AERY, 2012).

In this context, the present work aimed to evaluate the influence of bird carcass compost and rare earth elements on coffee seedling development.

## Material and methods

The present work was developed in the Nursery Sector nursery of the Federal Institute of Education, Science and Technology of Southern Minas Gerais, Brazil – Campus Muzambinho, from July 2018 to January 2019.

The seedlings were produced in high cover nursery under 50.0 % shade. The experimental design was a randomized complete block design (DBC), in a 3 x 5 factorial scheme, with four replications and 21 plants per plot. The treatments consisted of different concentrations of poultry carcass compost and rare earth element (REEs) dosages. The plant material used in the experiment were certified seeds of *Coffea arabica* L. cv Catuaí Vermelho IAC-144.

The poultry carcass composting used in this experiment was developed at the Federal Institute of Education, Science and Technology of Southern Minas Gerais – Campus Muzambinho, in the poultry sector and its chemical analysis in liters is presented in Table 1.

**Table 1** – Result of chemical analysis of organic compost from poultry carcass and coffee straw. Muzambinho/MG, 2019.

Parameter	Unit of measurement	Result
pH	-	6.8
Moisture	%	32.94
Organic Carbon	%	28.72
relationship C:N	-	10.64
Nitrogen	%	2.7
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	%	2.6
K <sub>2</sub> O	%	1.63
Ca	g kg <sup>-1</sup>	27.5
Mg	g kg <sup>-1</sup>	6.7
S	g kg <sup>-1</sup>	9.6
Cu	mg g <sup>-1</sup>	54
Fe	mg g <sup>-1</sup>	11898
Mn	mg g <sup>-1</sup>	340
Zn	mg g <sup>-1</sup>	368
B	mg g <sup>-1</sup>	90

**Source:** Elaborated by the authors (2020).

The treatments consisted of three concentrations of poultry carcass compost (0, 150 and 300 liters m<sup>-3</sup> of substrate). To the substrate mixture was added 5.0 kg single superphosphate and 0.5 kg potassium chloride. Completing the remainder with weed seed-free soil to a volume of 1000.0 L of substrate per *mix*.

To prepare the *mix*, containers of polyethylene bags with a volume of 260.0 cm<sup>3</sup> were used. The bags were filled with the substrate of each plot and enchanted in beds of 1.20 m wide, with irrigation being carried out to fully moisten the substrate before sowing.

Sowing was performed with the substrate at field capacity, with two seeds in each polyethylene bag, a thin layer of weed-free soil sieved under the coffee seeds, and covered with burlap sack to date of emergence, emergence of seedlings in the substrates. Two irrigations were carried out daily through micro sprinklers within the nursery area, according to the need of seedlings. When the seedlings reached the toothpick stage of phosphorus was thinned leaving only one plant per tube, keeping them under shade (50.0 % of passage of light), and irrigated daily using micro sprinklers, with nominal flow of 60.0 L h<sup>-1</sup> as well as Almeida et al. (2011).

In the study, five doses were used, forming a *mix* of Lanthanum and Cerium according to the REEs (Table 2).

**Table 2** – Lanthanum and Cerium Concentrations, Muzambinho/MG, 2019.

<i>Mix</i>	REEs (mg L <sup>-1</sup> )	
	Lanthanum	Cerium
1	0	0.0
2	100	0.2
3	200	0.3
4	400	0.4
5	600	0.5

**Source:** Elaborated by the authors (2020).

The *mix* was applied by irrigating the seedlings when they reached the second pair of true leaf, with a 1 L syrup per plot. The doses used were based on the experiment by Santini et al. (2019).

The evaluations were performed at 180 days after sowing, when the plants presented 4 to 6 pairs of true leaves, evaluated by the following characteristics: Height of plant, measurement of plant neck to apical bud in centimeters; stem diameter, measured on the neck of the plant with a digital caliper in millimeters; number of true sheets, direct count of the number of sheets and leaf area, measured by the CI-202 leaf area meter.

The data were submitted to analysis of variance using the statistical software *SISVAR* (FERREIRA, 2011). The significant difference between treatments was determined by the F test, Knott at 5% probability.

## Results and discussion

Data on the use of different substrate doses of poultry carcass compost and addition of Lanthanum and Cerium *mix* via irrigation are presented in Table 3.



**Table 3** – Number of leaves. plant height. stem diameter. leaf area at different concentrations of poultry carcass compost and Lanthanum and Cerium *mix*. Muzambinho/MG, 2019.

Mix	Compost (L)					
	0	150	300	0	150	300
	number of leaf			plant height (cm)		
1	12.5 Aa	9.24 Aa	8.75 Aa	10.66 Aa	16.68 Bb	13.87 Bb
2	9.1 Aa	8.54 Aa	10.02 Aa	13.53 Bb	8.19 Aa	16.08 Bb
3	9.5 Aa	7.9 Aa	5.5 Aa	16.47 Cb	11.66 Ba	6.59 Aa
4	27.1 Bb	10.3 Aa	9.2 Aa	8.45 Aa	15.25 Bb	13.22 Bb
5	8.62 Aa	9.01 Aa	9.7 Aa	13.52 Bb	8.8 Aa	16.68 Bb
CV(%)	98.95			18.72		

Mix	Compost (L)					
	0	150	300	0	150	300
	stem diameter			leaf area (cm <sup>2</sup> )		
1	2.22 Aa	3.29 Bb	2.8 Bb	102.03 Aa	248.99 Bc	202.38 Bb
2	2.90 Bb	2.28 Aa	3.15 Bb	124.64 Aa	79.08 Aa	211.44 Bb
3	3.02 Ab	2.6 Ba	1.81 Ba	212.59 Bb	169.31 Bb	60.29 Aa
4	2.32 Aa	3.17 Bb	3.01 Bb	100.26 Aa	211.82 Bc	184.39 Bb
5	2.81 Ab	2.42 Aa	3.13 Ab	183.69 Bb	113.43 Aa	226.74 Bb
CV(%)	15.85			25.41		

(\*) Averages followed by the same uppercase letter in the row and lowercase in the column did not differ from each other by the Scott Knott Test at the 0.05 level of significance.

**Source:** Elaborated by the authors (2020).

There was no interaction between treatments. According to the variance analysis, it was observed that the 150.0 m<sup>-3</sup> dosage of poultry carcass compost showed a significant increase in plant height (16.68 cm), stem diameter (3.29 cm) and leaf area (248.99 cm<sup>2</sup>). Followed by dosing of 150.0 m<sup>-3</sup> poultry carcass compound with dose 4 of the *mix* (400 mg L<sup>-1</sup> Lanthanum and 0.4 mg L<sup>-1</sup>) with plant height (15.25 cm), stem diameter (3.17 cm) and leaf area (211.82 cm<sup>2</sup>). These results lead us to believe that attention should be given to the use of poultry manure as it proves to be an efficient source of nutrients for plants in other studies, as suggested by Cogo et al. (2011).

Higher values when compared to the treatment that had no additional poultry carcass compost and *mix* watering (dose 1), as observed in Table 3. However, for the variable number of leaves no significant difference was observed between treatments.

The results obtained in the present experiment when compared to the work of Pereira and Pinto (2013) converge to the same line, that the addition of poultry carcass compost in some proportion is beneficial for the development of seedlings providing nutrients. Likewise Dias, Melo and Silveira (2009), observed that the addition of alternative substrate to artificial substrate in coffee tree seedlings favored its development. In this sense, the results showed that the alternative organic materials used in the doses of this study, presented potential as organic matter to compose the substrate according to results found by Cogo et al. (2018). This, in turn, will contribute to the physical, chemical and biological characteristics of the substrate that will serve as a support and source of nutrients for the coffee plant, in order to create an adequate environment for the development of the roots and the plant as a whole. In addition, the substrate will accompany the seedling to the field and will be the main source of nutrient for the new side roots (GOMES E PAIVA, 2006).

This result confirms the possibility of using alternative organic materials for the production of coffee seedlings, demonstrating that the seedlings produced under the tested doses are able to survive the adverse conditions found in the field (VALLONE et al., 2010).

The use of rare earth elements such as Lanthanum and Cerium used in this work diverged with the results of Hong et al. (2003); Hu et al. (2002); Liu; Wang; Chen. (2012). that when used at certain concentrations in agriculture, can influence plant growth and development, as well as increase their resilience against stress produced by environmental factors, as well as found a positive increase in the responses of growing and yielding plants, generally with the application of REEs.

Furthermore, the choice of these components has a direct effect on the development of coffee seedlings (VALLONE et al., 2010), since this is the primary source of nutrients, water and a place of support for the plant (COGO et al., 2018). It is notable that the possibility of using more than one source of waste to fertilize the substrate is a relevant increase for coffee seedling producers.

## Conclusions

The use of poultry carcass compost at 150.0 L m<sup>-3</sup> promotes greater growth and development of coffee seedlings.

The use of rare earth elements in coffee is still new, having no studies on, nor reference. The addition of rare earth elements such as Lanthanum and Cerium at the doses used in the present work does not interfere with the initial development of coffee plants, having no interaction with the use of chicken carcass compound.

## Elementos terra rara e composto de carcaça de aves no desenvolvimento de mudas de cafeeiro

### Resumo

O uso de compostagens alternativas, como a carcaça de animais, é viável para a disposição final desses resíduos. Os elementos terras raras (ETRs) são um grupo homogêneo de 17 elementos químicos na tabela periódica que são essenciais para muitas indústrias. O trabalho teve como objetivo avaliar a influência do composto de carcaça de aves e os ETRs no desenvolvimento de mudas de cafeeiro. O trabalho foi realizado no IFSULDEMINAS – Campus Muzambinho, no período de julho de 2018 a janeiro de 2019. O delineamento experimental foi em blocos casualizados (DBC), em esquema fatorial 3 x 5, com 4 repetições e 21 plantas por parcela, considerando úteis as 5 centrais. Os tratamentos constaram de diferentes concentrações de composto de carcaça de aves (0, 150 e 300 L m<sup>-3</sup>) e dosagens de ETRs (mix 1, 2 3 4 e 5). A aplicação do mix foi realizada sobre as mudas quando atingiram o segundo par de folha. As avaliações foram realizadas aos 180 dias após a semeadura, avaliadas por meio da altura da planta, do diâmetro do caule, do número de folhas e da área foliar. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância com o emprego do Software SISVAR, sendo a diferença significativa entre tratamentos, determinada pelo Teste F, detectando as diferenças entre os tratamentos pelo Teste de Scott-Knott. A utilização de composto de carcaça de aves na dosagem de 150 litros m<sup>-3</sup> promove maior desenvolvimento das mudas. A adição de ETRs nas doses utilizadas não interfere no desenvolvimento de plantas de cafeeiro.

**Palavras-chave:** Cério. Coffea arabica L. Compostagem orgânica. Lantânio.

## References

ALMEIDA, S. L. S.; COGO, F. D.; GONÇALVES, B. O.; RIBEIRO, B. T.; CAMPOS, K. A.; MORAIS, A. R. Adição de Resíduos Orgânicos ao Substrato para Produção de Mudanças de Café em Tubete. **Revista Agrogeoambiental**. v. 3. n. 2. p. 9-13. 2011.

BALIZA, D. P.; ÁVILA, F. W.; CARVALHO, J. G.; GUIMARÃES, R. J.; PASSOS, A. M. A.; PEREIRA, V. A. Growth and nutrition of coffee seedlings influenced by potassium substitution by sodium. **Coffee Science**. v. 5. n. 3. p. 272-282. 2010.

CHANG, J. Effects of lanthanum on the permeability of root plasmalemma and the absorption and accumulation of nutrients in rice and wheat. **Chinese Plant Physiology Communication**. v. 27. p. 17-21. 1991.

COGO, F. D.; LOPES, F. A. B.; PIRES, F. R.; ALMEIDA, S. L. S.; CAMPOS, K. A. Parâmetros de crescimento de mudas de café: meta- Análise. **The Journal of Engineering and Exact Sciences – JCEC**. v. 4. n. 3. 2018.

COGO, F. D.; VIEIRA, R. J.; LOPES, F. A. B.; CAMPOS, K. A.; MORAIS, A. R. Crescimento de mudas de diferentes cultivares de cafeeiro em função da fertilização orgânica do substrato. **Enciclopédia Biosfera**. v. 7. p. 1-9. 2011.

DIAS, R.; MELO, B.; SILVEIRA, D. L. Sources and proportion of organic material for coffee bean seedling production. **Ciência Agrotecnologia**. Lavras. v. 33. n. 3. p.754-764. 2009.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistic analysis system. **Science and Agrotechnology Lavras**. v. 35. n. 6. p. 1039-1042. 2011.

FREITAS, T. A. S.; BARROSO, D. G.; CARNEIRO, J. D. A.; PENCHEL, R. M.; FIGUEIREDO, F. A. M. M. A. Eucalyptus seedlings produced from minicuttings in different containers and substrates. **Tree Magazine**. Viçosa. v. 30. n. 4. p. 519-528. 2006.

GOMES, J. M.; PAIVA, H. N. **Viveiros Florestais: propagação sexuada**. Viçosa: UFV. 2006.

HONG, F.; WANG, X.; LIU, C.; SU, G.; SONG, W.; WU, K.; TAO, Y.; ZHAO, G. Effect of Ce<sup>+3</sup> on spectral characteristic of D1/ D2/Cytb559 complex from spinach. **Science in China**. Beijing. v. 46. n. 1. p. 42-50. 2003.

HU, X.; DING, Z.; CHEN, Y.; DAI, L. Bioaccumulation of lanthanum and cerium and their effects on the growth of wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings. **Chemosphere**. Oxford. v. 48. n. 6. p. 621-629. 2002.

IUPAC. **NOMENCLATURE OF INORGANIC CHEMISTRY-IUPAC**: Recommendations. [s.l.: s.n.]. p. 366. 2005.

KIEHL, J. C. Production of organic and vermicompost compound. **Agricultural Report**. Belo Horizonte. v. 22. n. 212. p. 40-47. 2001.

LIU, D.; WANG, X.; CHEN, Z. Effects of rare earth elements and REE binding proteins on physiological responses in plants. **Protein and Peptide Letters**. Hilversum. v. 19. n. 2. p. 198-202. 2012.

PEREIRA, E. M.; PINTO, L. V. A. Composting poultry carcass as a substrate component for the production of *Eucalyptus grandis* seedlings in plastic bags and tubes. **Agrogeoenvironmental**. Pouso Alegre. v. 5. n. 3. p. 45-53. 2013.

PRIMO, D. C.; FATIGUE, F. S.; OAK, J. C. R.; SCHIMIDT, C. D. S.; BORGES FILHO, A. C. S. Evaluation of the nutritional quality of organic compost produced with smoke residues. **Brazilian Journal of Agricultural and Environmental Engineering**. Campina Grande. v. 14. n. 7. p. 742-746. 2010.

RAMOS, S. J.; DINALI, G. S.; OLIVEIRA, C.; MARTINS, G. C.; MOREIRA, C. G.; SIQUEIRA, J. O.; GUILHERME, L. R. G. Rare earth elements in the soil environment. **Current pollution Reports**. v. 2. p. 28-50. 2016.

SANTINI, P.T.; FUNCHAL, M.; ARAUJO, J.C.; FREIRE, L.G.R.; MENDONÇA, J.M.A.; GUILHERME, L.R.G. Influence of the application of rare earth elements on the content of chlorophyll and gas coffee exchanges. In: X Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil. 2019. Vitória. X Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil. 2019.

SILVA, J. I.; VIEIRA, H. D.; VIANA, A. P.; BARROSO, D. G. Desenvolvimento de mudas de *Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner em diferentes combinações de substrato e recipiente. **Coffee Science**. Lavras. v. 5. n. 1. p. 38-48. jan./abril. 2010.

RODRIGUES, G. S.; MODESTO, V. C.; OLIVEIRA, E. L.; MONTES, R. M.; SOUZA, H. A.; NATALE, W. Effects of application of organic compost of carcass and slaughtering of goats and sheep on soil micronutrients. sulfur and aluminum. In: CONNEPI. 7. 2012. Palms. **Annals...** Palms: Ifto. p. 1-3. 2012.

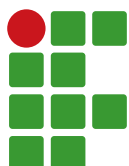
SHYAM, R.; AERY, N. C. Effect of cerium on growth. dry matter production. biochemical constituents and enzymatic activities of cowpea plants [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.]. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**. v. 12. n. 1. p. 14. 2012.

TRIGUEIRO, R. M.; GUERRINI, I. A. Use of biosolid as substrate for eucalyptus seedling production. **Scientia Florestalis**. Piracicaba. SP. n. 64. p. 150-162. 2003.

VALLONE, H. S.; GUIMARÃES, R. J.; MENDES, A. N.; CUNHA, R. L.; CARVALHO, G. R.; DIAS, F. P. Efeitos de recipientes e substratos utilizados na produção de mudas de cafeeiro no desenvolvimento inicial em casa de vegetação. sob estresse hídrico. **Ciência Agrotecnologia**. v. 34. n. 2. p. 320-328. 2010.

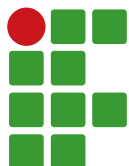
**Received:** December 15, 2019

**Accepted:** May 18, 2020



# Sumário

Escarificação e ácido giberélico na germinação e desenvolvimento inicial de pindaíba ( <i>Duguetia lanceolata</i> ST Hil) .....	144
Kamila Cristina de Credo Assis, Guilherme Serra Geraldo, Cintia Moda Salatino Guardabaxo, Eunice Maria Baquião, Bruna Nogueira Rezende, Anna Lygia de Rezende Maciel	
Influência da vegetação de entorno na diversidade de vespas sociais na cultura do café .....	154
Gabriel de Castro Jacques, Bruna Sântia Silva de Araújo	
Análise espaço-temporal do rompimento da barragem de rejeitos no município de Brumadinho/MG .....	164
Jéssica de Cássia Leopoldino, Camila Souza dos Anjos, Débora Paula Simões, Luiz Flávio Reis Fernandes	
Uso de modelagem da quantidade de carbono mineralizado de resíduos de dejetos de suínos e palha de trigo.....	177
Gustavo Sérgio de Paula, Edilson Marcelino Silva, Ariana Campos Frühauf, Édipo Menezes da Silva, Joel Augusto Muniz, Tales Jesus Fernandes	
Qualidade de grãos de feijão crioulo Gurgutuba branco armazenados em silo bolsa e garrafa pet .....	195
Valter Barbosa Magalhães, Adalberto Hipólito de Sousa	
Modos de aplicação e doses de inoculação com <i>Azospirillum</i> no desempenho agrônômico do milho segunda safra.....	209
Ivan Vilela Andrade Fiorini, Cassiano Spaziani Pereira, Mateus Emanuel Schoffen, Mauricio Escobar Tonial, Daniele Costa Sabino, Adriano Alves da Silva	
Zoneamento de Risco Agroclimático do Mamoeiro ( <i>Carica Papaya</i> L.) na Bacia Hidrográfica do Rio Paraná III .....	224
Nathan Felipe da Silva Caldana, Pablo Ricardo Nitsche, Luiz Gustavo Batista Ferreira, Alan Carlos Martelócio, Paulo Vicente Contador Zaccheo, Jorge Alberto Martins	



# Escarificação e ácido giberélico na germinação e desenvolvimento inicial de pindaíba (*Duguetia lanceolata* ST Hil)

Kamila Cristina de Credo Assis<sup>1</sup>

Guilherme Serra Geraldo<sup>2</sup>

Cintia Moda Salatino Guardabaxo<sup>3</sup>

Eunice Maria Baquião<sup>4</sup>

Bruna Nogueira Rezende<sup>5</sup>

Anna Lygia de Rezende Maciel<sup>6</sup>

## Resumo

A *Duguetia lanceolata* St. Hill é uma espécie nativa da Floresta Atlântica. Suas sementes contêm substâncias que possuem efeito inibidor de germinação. Diante do exposto, o trabalho teve como objetivo avaliar a influência do ácido giberélico e da escarificação mecânica na germinação e no desenvolvimento de plântulas de *D. lanceolata*. O trabalho foi desenvolvido no IFSULDEMINAS – Campus Muzambinho/MG. As sementes foram obtidas de frutos coletados de plantas adultas. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 5 x 2, com 3 repetições 18 plantas por parcela. Os tratamentos consistiram em diferentes concentrações de ácido giberélico (0, 5, 10, 15 e 20 mg L<sup>-1</sup>) e escarificação mecânica (presença e ausência). Foram avaliados número de folhas, diâmetro de caule e porcentagem de germinação. Os dados foram submetidos à análise de variância, sendo a diferença significativa entre tratamentos determinada pelo Teste F e, posteriormente, analisadas pelo Teste de Scott-Knott as variáveis qualitativas e por regressão as quantitativas, ambas ao nível de 5 %. O diâmetro de caule e o número de folhas de plântulas não são influenciados pelo ácido giberélico e pela escarificação. Houve incremento linear na porcentagem de germinação com o aumento das doses de ácido giberélico até a concentração 20,0 mg L<sup>-1</sup>, quando não ocorreu escarificação (35,19%). Registrou-se comportamento quadrático em relação às doses de giberelina quando as sementes passam por escarificação mecânica com máximo de uma dosagem de 10,0 mg L<sup>-1</sup> e germinação correspondente de 42,59 %. A escarificação mecânica promoveu incremento na germinação quando não houve aplicação de GA<sub>3</sub> e na dosagem de 10,0 mg L<sup>-1</sup>.

**Palavras-chave:** Annonaceae; GA<sub>3</sub>. Protusão da radícula. Quebra de dormência.

1 Universidade do Estado de São Paulo/Faculdade de Ciências Agrônomicas (UNESP/FCA). Mestranda em Agronomia – Irrigação e Drenagem. [kamilac.cassis@hotmail.com](mailto:kamilac.cassis@hotmail.com).

2 Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA) – Mococa/SP. Engenheiro agrônomo. [gui\\_geraldo@hotmail.com](mailto:gui_geraldo@hotmail.com).

3 Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais (IFSULDEMINAS). Discente no curso de Engenharia Agrônoma. [cintiamoda@gmail.com](mailto:cintiamoda@gmail.com).

4 UNESP/FCA. Mestranda em Agronomia – Proteção de Plantas. [eunicebaquiaonr@gmail.com](mailto:eunicebaquiaonr@gmail.com).

5 UNESP/FCA. Mestranda em Agronomia – Irrigação e Drenagem. [bbrunarezende@hotmail.com](mailto:bbrunarezende@hotmail.com).

6 IFSULDEMINAS. Professor e pesquisador. [anna.lygia@muz.ifsuldeminas.edu.br](mailto:anna.lygia@muz.ifsuldeminas.edu.br).

## Introdução

Segundo Carvalho (2006), as espécies nativas podem ser uma alternativa para resolver problemas sociais. Desta forma, as plantas nativas devem ocupar novos nichos de mercado, diversificando a renda para famílias de agricultores, aliando desenvolvimento econômico à conservação ambiental.

As espécies vegetais da família Annonaceae têm descrição datada em 1789 e são plantas geralmente distribuídas entre zonas tropicais dos continentes americano, africano e asiático. Essa família apresenta cerca de 2.500 espécies distribuídas em aproximadamente 135 gêneros (CHATROU et al., 2012). Dos gêneros que compõem a família Annonaceae, 34 podem ser encontrados na América do Sul, onde predominam os gêneros *Annona* L., *Duguetia* St. Hil., *Guatteria* Ruiz et Pavon, *Rollinia* St. Hil e *Xylopia* L. No Brasil, encontram-se 29 gêneros, dentre eles *Duguetia* spp. com 50 espécies das 70 catalogadas (RIBEIRO et al., 2002).

A *Duguetia lanceolata* St. Hill é uma espécie nativa da Floresta Atlântica fechada brasileira e conhecida popularmente como pindaíba, pindaíva, pindaúva e perovana (RODRIGUES; CARVALHO, 2001). A *D. lanceolata* está na lista oficial das espécies da flora brasileira ameaçadas de extinção no estado de São Paulo e é considerada em perigo no Rio Grande do Sul (NCFLOTA, 2012).

A espécie é arbórea, com 15,0 a 20,0 metros de altura e 0,4 a 0,6 m de diâmetro de caule, seu tronco é reto e apresenta uma concha marrom-acinzentada. As folhas são simples, glabras, esbranquiçadas e escamosas na parte inferior; lanceoladas, com margem suave e textura de cartão, medem de 2,5 a 3,0 cm de largura e de 6,0 a 12,0 cm de comprimento. As flores são grandes e de coloração arroxeadas, os frutos são bacáceos, vermelhos e muito vistosos (MANICA et al., 2003).

O uso de espécies florestais apresenta muitas dificuldades que são acarretadas pela ausência de informações sobre seu cultivo, sendo necessário ampliar os trabalhos nas áreas de propagação e produção de mudas (FERREIRA, 2000).

A germinação das sementes é um fenômeno biológico que pode ser considerado pelos botânicos como a retomada do crescimento do embrião, com o subsequente rompimento do tegumento pela radícula (ANDRADE et al., 1995). Neste caso a obtenção de semente é, imprescindivelmente, a mais importante fase no processo de produção de mudas de espécies nativas para reflorestamento, pois geralmente as espécies nativas são propagadas via seminal (SENA, 2008).

Algumas espécies nativas possuem mecanismos de dormência seminal que impedem o processo germinativo, ainda que as condições sejam favoráveis. Nesses casos para que a germinação ocorra são necessárias técnicas que estimulem a germinação. Esse bloqueio pode ocorrer em qualquer fase da germinação, por mecanismos relacionados a própria semente, ou ainda ser induzidos por efeitos ambientais ou genéticos (BENECH-ARNOLD et al., 2013).

As sementes da família das anonáceas são ortodoxas, ou seja, toleram o armazenamento por tempo prolongado, entretanto, suas sementes contêm substâncias que possuem efeito inibidor de germinação, provocando dormência, que somada à impermeabilidade e resistência do tegumento, proporciona fatores antagônicos à germinação uniforme e rápida (JOSE; SILVA; DAVIDE, 2007). Segundo Borghetti (2004), o embrião contido nas sementes das espécies da família Annonaceae possui maturação incompleta e, nesse caso, as sementes não germinam logo após a dispersão, necessitando de um tempo de pós-maturação.

Segundo Taiz et al., (2017), a perda da dormência do embrião está frequentemente associada à queda acentuada na razão entre os fitohormônios ácido abscísico (ABA) e ácido giberélico (GA). Cunha e Casali (1989) salientam que o efeito inibidor do ABA na germinação pode ser revertido pelo GA<sub>3</sub>,



quando utilizado em concentrações que superam o seu teor. Um dos métodos utilizados para promover a superação da dormência fisiológica é a aplicação exógena desses fitohormônios.

Os fitohormônios são mensageiros químicos produzidos em uma célula que modulam os processos celulares interagindo com proteínas específicas. Eles funcionam como receptores ligados a rotas de transdução de sinal. Mesmo em concentrações baixas, esses fitohormônios são capazes de ativar respostas em células-alvo (TAIZ et al., 2017).

De acordo com Manica (2003), além dos fatores fisiológicos que impedem ou dificultam a germinação das sementes das anonáceas, ainda existe a dormência física. Entre os fatores físicos, essa dormência está relacionada com a densidade do tegumento, que causa impermeabilidade da casca, dificultando as trocas gasosas. O tegumento das sementes possui alto teor de lignina, desta forma, algumas espécies da família podem demorar até 180 dias para germinar.

A escarificação é o método indicado para a superação da dormência física, o qual tem por objetivo tornar o envoltório da semente mais permeável à absorção de água e às trocas gasosas, bem como facilitar a emergência da radícula e da plúmula. A escarificação mecânica consiste no atrito das sementes contra uma superfície abrasiva ou raspagem de uma pequena parte ou corte do tegumento (FACHINELLO; HOFFMANN; NACHTIGAL, 2000; CARVALHO, 2003).

Resultados de superação da dormência em sementes de anonáceas foram observados por Campos et al. (2015), que estudaram a combinação de escarificação física e concentrações de ácido giberélico em tratamento pré-germinativo de biribá (*Rollinia mucosa* (Jacq.) Baill). Os autores observaram aumento significativo na porcentagem de germinação das sementes e no crescimento inicial das plântulas, quando a escarificação física foi utilizada associada ao GA<sub>3</sub> até a concentração máxima de 1000,0 mg L<sup>-1</sup>. Resultados complementares foram obtidos por Matias, Vilar e Dantas (2018), que encontraram melhores resultados em germinação de (*Annona cf. montana* (Macfad)) com a aplicação de giberelina e com a escarificação química com Nitrato de Potássio (KNO<sub>3</sub>).

Para viveiristas e produtores, o mecanismo de dormência da *Duguetia lanceolata* é uma desvantagem, induzindo a desuniformidade das mudas e a maior demanda de tempo na sua produção, além de maior risco de perda de sementes por deterioração.

Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a influência do ácido giberélico e da escarificação mecânica na germinação de sementes e no desenvolvimento de plântulas de *Duguetia lanceolata* St. Hill.

## Material e métodos

### Caracterização da área experimental

O experimento foi desenvolvido no Laboratório de Produção de Mudanças de Espécies Florestais do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais – *Campus* Muzambinho/MG, no período de julho de 2017 a julho de 2018.

O município de Muzambinho, que pertence à região sul do estado de Minas Gerais, apresenta coordenadas geográficas de latitude: 21° 20' 59,94" S e longitude: 46° 31' 34,82" W, com média de 1.013,0 metros de altitude.

O clima da região é temperado úmido com inverno seco e verão moderadamente quente (Cwb), segundo classificação de Köppen (SÁ JUNIOR et al., 2012).

## Tratamentos e delineamento experimental

O delineamento experimental foi em blocos casualizados (DBC), em esquema fatorial 5 x 2, contendo 3 repetições com 18 plantas por parcela. Os fatores experimentais consistiram em diferentes concentrações de ácido giberélico (0, 5, 10, 15 e 20 mg L<sup>-1</sup>) e escarificação mecânica (presença e ausência).

As sementes foram divididas conforme os tratamentos pré-estabelecidos. A escarificação mecânica consistiu na fricção vigorosa do tegumento com utilização de lixa d'água nº 150 nas extremidades das sementes. No tratamento com regulador de crescimento, as sementes foram mantidas embebidas por 24 horas, em soluções de ácido giberélico, nas concentrações de cada tratamento. As sementes sem o regulador de crescimento ficaram embebidas em água destilada.

## Instalação e condução do experimento

As sementes utilizadas foram obtidas de frutos coletados aleatoriamente em cinco plantas adultas de *Duguetia lanceolata* ST Hill, localizadas em uma propriedade rural do município de Muzambinho/MG.

Os frutos totalmente maduros foram despolidos manualmente, utilizando peneira e água corrente e, após a extração, as sementes foram secas em papel e mantidas em local sombreado até o momento da realização dos processos experimentais.

As sementes foram embebidas no tratamento correspondente por um período de 24 horas. Após a embebição, as sementes foram semeadas em sacos plásticos de 1,5 litros, utilizando como substrato solo de barranco e esterco bovino curtido na proporção 3 x 1 enriquecidos com 3,0 kg de superfosfato simples para cada 1m<sup>3</sup> de substrato. Os sacos plásticos foram mantidos em condições de viveiro com sombreamento de 50,0% e irrigação, quando necessário.

## Características avaliadas

Após 150 dias, foram avaliados: porcentagem de germinação, número de folhas e diâmetro de caule. As sementes foram consideradas germinadas após a protusão da radícula. Não foi realizada nenhuma análise destrutiva devido à espécie apresentar elevado risco de extinção.

## Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância com o emprego do Software estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011), sendo a diferença significativa entre tratamentos determinada pelo teste F. Detectando-se diferenças entre os tratamentos, as médias sob o fator escarificação foram agrupadas pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de significância e as médias referentes à dosagem do GA<sub>3</sub> foram submetidas à análise de regressão.

## Resultados e discussão

A partir da análise de variância, constatou-se que houve interação entre os fatores estudados para a variável porcentagem de germinação. Para as variáveis diâmetro de caule e número de folhas também não houve diferença estatística entre os tratamentos para os fatores isolados.

Os dados referentes à influência de ácido giberélico e à escarificação mecânica na germinação de sementes e desenvolvimento de plântulas de *Duguetia lanceolata* ST Hill encontram-se na Tabela 1.

**Tabela 1** – Porcentagem de germinação de sementes, diâmetro de caule (mm) e números de folhas de *Duguetia lanceolata* ST. Hill submetidas a diferentes concentrações de ácido giberélico e escarificação mecânica. Muzambinho/MG, 2018.

GA <sub>3</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	Escarificação					
	Presença	Ausência	Presença	Ausência	Presença	Ausência
	Germinação (%)		Diâmetro (mm)		Nº de folhas	
0	35,18 a*	27,77 b	2,06 a	2,13 a	4,86 a	5,13 a
5	36,33 a	31,48 a	2,28 a	1,97 a	4,33 a	4,53 a
10	42,59 a	29,63 b	1,82 a	2,16 a	5,06 a	5,13 a
15	37,04 a	33,33 a	2,00 a	2,47 a	5,73 a	5,57 a
20	29,63 a	35,18 a	1,86 a	2,04 a	4,40 a	6,73 a
CV(%)	16,36		18,64		17,65	

(\*) Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha não diferem, significativas ao nível de 5% pelo teste Scott-Knott.

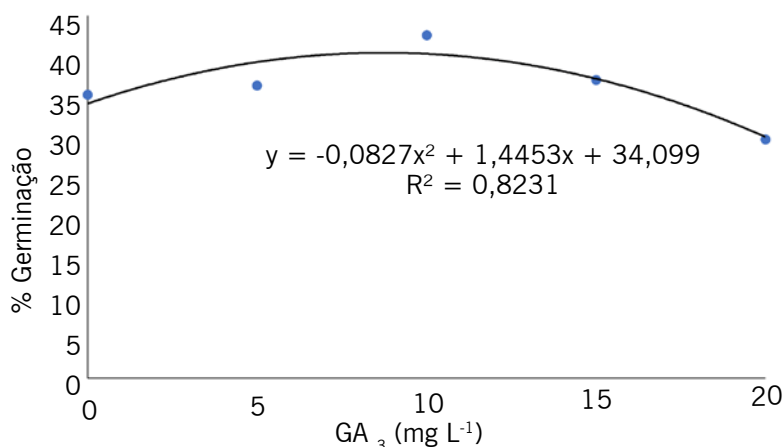
**Fonte:** Elaboração dos autores (2018).

Nas concentrações de 0,0 e 10,0 mg L<sup>-1</sup> de GA<sub>3</sub>, a presença da escarificação mecânica promoveu aumento significativo na porcentagem de germinação das sementes de *D. lanceolata* quando comparado à ausência do método (TABELA 1). Tal fato pode estar relacionado à escarificação mecânica, o que favorece o enfraquecimento do envoltório seminal rígido, tornando-o mais permeável, facilitando o desenvolvimento do embrião.

Esses resultados corroboram os encontrados por Ferreira et al. (2002) em *Annona squamosa* e Pereira et al. (2004) em *Annona crassiflora* Mart, que obtiveram maior média de germinação em sementes escarificadas mecanicamente antes da embebição em ácido giberélico. Lorenzi (2002) também observou que escarificação mecânica e química em *A. crassiflora* Mart. propiciou aumento na taxa de germinação, o que pode resultar em índices superiores a 50,0%. Contudo, Campos et al. (2015) não encontraram diferença significativa para a escarificação de (*Rollinia mucosa* (Jacq.) Baill) 85 dias após a semeadura (DAS).

Na Figura 1 apresenta-se a análise de regressão em relação à dosagem de ácido giberélico na presença de escarificação. A regressão obteve comportamento quadrático com alto coeficiente de determinação (82,3%). Tal resultado comprova que as plantas responderam positivamente ao incremento do ácido na presença de escarificação até a dosagem máxima de 8,27 mg L<sup>-1</sup>. Por outro lado, em dosagens superiores, houve decréscimo da porcentagem de germinação, fato que corrobora a afirmação de que os hormônios vegetais atuam somente quando presentes em baixas concentrações.

**Figura 1** – Porcentagem de germinação de *Duguetia lanceolata* ST Hill submetida à escarificação física mecânica com lixa nº 150 e diferentes dosagens de GA<sub>3</sub> (Muzambinho, 2018).



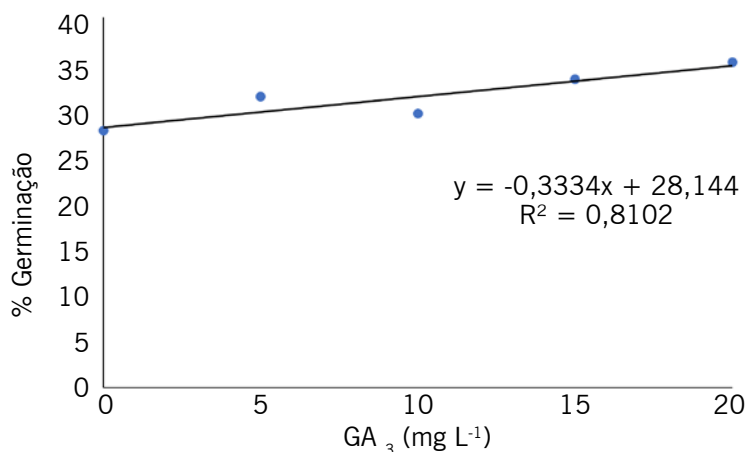
**Fonte:** Elaboração dos autores (2018).

No interior das células vegetais, as rotas de transdução de sinal nunca funcionam isoladamente, mas operam como parte de uma rede complexa de interações da sinalização (TAIZ et al., 2017). Neste sentido, cabe ressaltar que o hormônio promove acréscimo na germinação quando ocorre o balanço entre ABA e GA<sub>3</sub>. Em dosagens maiores pode ocorrer desbalanço hormonal e inibição do sítio de ação e consequentemente da germinação.

Resultados semelhantes foram obtidos por Oliveira et al. (2010) que testando o ácido giberélico comercial (0,1 i.a) na germinação de sementes de atemoia (*Annona cherimola* Mill. x *A. squamosa* L.) cv ‘GEFNER’ obteve diminuição na germinação em dosagens acima de 750,0 mg L<sup>-1</sup> em tempo de embebição de 36 horas.

Na Figura 2, apresentam-se as porcentagens de germinação nas sementes que não foram escarificadas. Diferentemente das escarificadas, a regressão encontrada apresentou comportamento linear com coeficiente de determinação alto (81,02%). Houve acréscimo na germinação em relação à testemunha independente da dose testada. Neste caso, a dose absorvida pelo embrião não provocou nenhuma reação antagônica ou desbalanço hormonal.

**Figura 2** – Porcentagem de germinação de *Duguetia lanceolata* ST Hill submetida a diferentes dosagens de GA<sub>3</sub> (Muzambinho, 2018).



**Fonte:** Elaboração dos autores (2018).

A giberelina pode ser responsável pela mobilização das reservas energéticas presentes no endosperma das sementes de várias espécies (TAIZ et al., 2017). Isso pode indicar que a aplicação exógena de ácido giberélico pode alterar o metabolismo da semente, incitando um fornecimento prematuro de energia necessária ao desenvolvimento do embrião. Como a razão ABA x GA exerce um papel decisivo na manutenção da dormência da semente, acredita-se que as condições ambientais que quebram a dormência fundamentalmente operam no nível das redes genéticas que afetam o equilíbrio. Essa hipótese é coerente com o fato de que o tratamento de sementes com GA em geral pode substituir um sinal positivo na quebra da dormência.

Resultados diferentes foram encontrados por Vasconcellos (2015) que testando o incremento de 1.000,0 mg L<sup>-1</sup> de GA<sub>3</sub> com auxílio de um borrifador na *Annona squamosa* não obteve germinação sem escarificação física.

O entendimento e o conhecimento do mecanismo de dormência e da superação da dormência em sementes são fatores relevantes no processo de produção de mudas (SILVA et al., 2011). De acordo com os resultados obtidos, o ácido giberélico promoveu incremento na porcentagem de germinação independentemente se ocorreu escarificação ou não. Na ausência de aplicação e na dosagem de 10,0 mg L<sup>-1</sup>, a escarificação também promoveu incremento na taxa de germinação. As porcentagens de germinação obtidas com a aplicação hormonal ainda são consideradas baixas sob o ponto de vista agrônomico. Gómez-Castañeda et al. (2003) salientam que os embriões das sementes de Annonaceae estão imaturos e são necessários pelo menos 6 meses para que ocorra a maturação embrionária ou para que sejam aplicados hormônios promotores de crescimento e diferenciação como auxinas e citocinina.

## Conclusões

O diâmetro de caule e o número de folhas de plântulas de *D. lanceolata* não são influenciados pelo ácido giberélico e pela escarificação mecânica. No entanto, a germinação responde positivamente à implantação de ambas as técnicas desde que observado o limite da planta ao incremento hormonal.

Houve incremento linear na porcentagem de germinação com o aumento das doses de ácido giberélico até a máxima concentração testada 20,0 mg L<sup>-1</sup>, quando não ocorreu escarificação (35,19%).

Existe um comportamento quadrático em relação às doses de giberelina quando as sementes passam por escarificação mecânica com ponto de máximo a uma dosagem de 8,27 mg L<sup>-1</sup> e germinação correspondente de 40,39 %.

A escarificação mecânica promoveu incremento na germinação quando não houve aplicação de GA<sub>3</sub> e na dosagem de 10,0 mg L<sup>-1</sup>.

## Agradecimentos

Ao IFSULDEMINAS – *Campus* Muzambinho, por ceder espaço e pela oportunidade do desenvolvimento do trabalho.

Ao NIPE – Núcleo Institucional de Pesquisa e Extensão do IFSULDEMINAS – *Campus* Muzambinho, pelo financiamento do projeto.

Ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pela concessão da bolsa aos discentes.

## Scarification and gibberellic acid in the germination and initial development of pindaíba (*Duguetia lanceolata* ST Hil)

### Abstract

*Duguetia lanceolata* St. Hill is a species native to the Atlantic Forest. Its seeds contain substances that have a germination inhibiting effect. In view of the above, the present work aimed to evaluate the influence of gibberellic acid and mechanical scarification on germination and seedling development of the *D. lanceolata*. This work was developed at IFSULDEMINAS - Campus Muzambinho, MG, Brazil. The seeds were obtained from fruits collected from adult plants. The experimental design was in randomized blocks, in a 5x2 factorial scheme with three replications with eighteen plants per plot. The treatments consisted of different concentrations of gibberellic acid (0, 5, 10, 15 and 20 mg L<sup>-1</sup>) and mechanical scarification (presence and absence). Leaf number, stem diameter and germination percentage were evaluated. The data were subjected to analysis of variance, the significant difference between treatments being determined by the F test and later, the qualitative variables were analyzed by the Scott-Knott test, and the quantitative variables by regression, both at the 5% level. The gibberellic acid and scarification do not influence the stem diameter and the number of seedling leaves. There was a linear increase in the percentage of germination with increasing doses of gibberellic acid up to the concentration 20.0 mg L<sup>-1</sup> when scarification did not occur (35.19%). Quadratic behavior occurred with gibberellin doses when the seeds undergo mechanical scarification with a maximum dosage of 10.0 mg L<sup>-1</sup> and corresponding germination of 42.59%. Mechanical scarification promoted an increase in germination when GA<sub>3</sub> was not applied, and at the dosage of 10.0 mg L<sup>-1</sup>.

**Keywords:** Annonaceae; GA<sub>3</sub>; Radicle protrusion; Break dormancy.

### Referências

ANDRADE, A. C. S. Efeito da luz e da temperatura na germinação de *Leandra breviflora* Cogn., *Tibouchina moricandiana* (DC.) Baill. (Melastomataceae). **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 17, n. 1, p. 29-35, 1995.

BENECH-ARNOLD, R. L. M.; RODRIGUEZ, V. M.; BATLLA, D. Seed Dormancy and Agriculture, Physiology. **Encyclopedia of Sustainability Science and Technology**, Springer New York, p.1-14, 2013.

BORGHETTI, F. Dormência embrionária. In: FERREIRA, A. G.; BORGHETTI, F. (Org.) **Germinação: do básico ao aplicado**. Porto Alegre: Artmed, 2004. p. 109-123.

CAMPOS, C. F. L.; ABREU, M. C.; GUIMARÃES, N. R.; SELEGUINI, A. Escarificação e ácido giberélico na emergência e crescimento de plântulas de biribá. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 10, p. 1748-1754, out, 2015.

CARVALHO, J. E. U. Utilização de espécies frutíferas em sistemas agroflorestais na Amazônia. In: GAMA-RODRIGUES, A. C.; BARROS, N. F.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; FREITAS, M. S. M.; VIANA, A. P.; JASMIN, J. A.; MARCIANO, C. R.; CARNEIRO, J. G. A. (Ed.). **Sistemas agroflorestais: bases científicas para o desenvolvimento sustentável**. Campos dos Goytacazes: Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2006. p. 169-176.

CHATROU, L. W.; PIRIE, M. D.; ERKENS, R. H. J.; COUVREUR, T. L. P.; NEUBIG, K. M. J.; ABBOTT, R.; MOLS, J. B.; MAAS, J. W.; SAUNDERS, R. M. K.; CHASE, M. W. A new subfamilial and tribal classification of the pantropical flowering plant family Annonaceae informed by molecular phylogenetics. **Botanical Journal of the Linnean Society**, London, v. 169, n. 1, p. 5-40, 2012.

CUNHA, R.; CASALI, V. W. D. Efeito de substâncias reguladoras de crescimento sobre a germinação de sementes de alface. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Londrina, v. 9, n. 2, p. 121-132, 1989.

FACHINELLO, J. C.; HOFFMANN, A.; NACHTIGAL, J. C. **Propagação de plantas frutíferas**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica. 221p., 2005.

FERREIRA, C. A. C. **Recuperação de áreas degradadas**. Informe Agropecuário, v. 21, n. 202, p. 127-130, 2000.

FERREIRA, D. F. Sisvar: um sistema computacional de análise estatística. **Ciência e Agrotecnologia**. Lavras, v. 35, n. 6 p. 11-15. Nov./Dec. 2011.

FERREIRA, G.; ERIG, P. R.; MORO, E. Uso de ácido giberélico em sementes de fruta-do-conde (*Annona squamosa* L) visando à produção de mudas em diferentes embalagens. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 24, n. 1, p. 178-182, 2002.

GOMEZ-CASTAÑEDA, J. A.; RAMÍREZ, H.; BENAVIDES-MENDOZA, A.; ENCINARODRIGUEZ, I. Germination and seedling development of soncoya (*Annona purpurea* Moc y Sessé) in relation to gibberelins and abscisic levels. **Revista Chapingo Serie Horticultura**, Texcoco, v. 9, n. 2, p. 243-253, 2003.

JOSE, C. A.; SILVA, A. E.; DAVIDE, C. A. Classificação fisiológica de sementes de cinco espécies arbóreas de mata ciliar quanto a tolerância à dessecação e ao armazenamento. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 29, n. 2, p. 171-178, 2007.

LORENZI, H. **Árvores Brasileiras: Manual de Identificação e Cultivo de Plantas Arbóreas do Brasil**, v. 1, 4. ed. – Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, 2002.

MANICA, I.; ICUMA, M. I.; JUNQUEIRA, P. K.; OLIVEIRA, S. A. M.; CUNHA, M. M.; OLIVEIRA, E. M.; JUNQUEIRA, V. T. N.; ALVES, T. R. **Frutas anonáceas: ata ou pinha, atemólia, cherimólia e graviola**. Porto Alegre: Cinco continentes, p.596. 2003.

MATIAS, J. R.; VILAR, F. C. R.; DANTAS, B. F. Superação de dormência de araticum-do-mato. **Informativo Abrates**, v. 28, n. 1, p.124-129, 2018.

NCFlora. *Duguetia lanceolata* in Lista Vermelha da flora brasileira versão 2012.2 Centro Nacional de Conservação da Flora. Disponível em: <[http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/pt-br/profile/Duguetia lanceolata](http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/pt-br/profile/Duguetia_lanceolata)>. Acesso em: 25 set. 2019.

OLIVEIRA, M. C.; FERREIRA, G.; GUIMARÃES, V. F.; DIAS, G. B. Germinação de sementes de atemoia (*Annona cherimola* Mill. x *A. squamosa* L.) cv. 'Gefner' submetida a tratamentos com ácido giberélico (GA<sub>3</sub>) e Etephon. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal/SP, v. 32, n. 2, p. 544-554, junho 2010.



PEREIRA, E. B. C.; PEREIRA, V. A.; MELO, T. J.; SOUSA-SILVA, C. J.; FALEIRO, G. F. **Quebra da dormência de sementes de araticum**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2004. 15p. (Boletim de Pesquisa e desenvolvimento/EMBRAPA Cerrados, 137).

RIBEIRO, J. E. L.; HOPKINS, M. J. G.; VICENTINI, A.; SOTHERS, C. A.; COSTA, M. A. S.; BRITO, J. M.; SOUZA, M. A. D.; MARTINS, L. H. P.; LOHMANN, L. G.; ASSUNÇÃO, P. A. C. L.; PEREIRA, E. C.; SILVA, C. F.; MESQUITA, M. R.; PROCÓPIO, L. C. **Guia da Reserva Ducke**: Guia de identificação das plantas vasculares de uma floresta de terra-firme na Amazônia Central. Editora INPA, 816p. 2002.

RODRIGUES, V. E. G.; CARVALHO, D. A. Levantamento etnobotânico de plantas medicinais no domínio do cerrado na região do Alto Rio Grande – Minas Gerais. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 25, n. 1, p. 102-123, jan./fev., 2001.

SÁ JÚNIOR, A.; CARVALHO, L. G.; SILVA, F. F.; ALVES, M. C. Application of the Köppen classification for climatic zoning in the state of Minas Gerais, Brazil. **Theor Appl Climatol**, v.108 p.1–7. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s00704-011-0507-8>>. Acesso em: 27 fev. 2018.

SENA, C. M. **Sementes Florestais**: Colheita, Beneficiamento e Armazenamento. Secretaria de Biodiversidade e Florestas. Departamento de Florestas. Programa Nacional de Florestas. Natal: MMA, 28p., 2008.

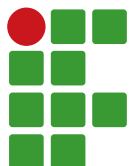
SILVA, P. E. M.; SANTIAGO, E. F.; DALOSO, D. M.; SILVA, E. M.; SILVA, J. O. Quebra de dormência em sementes de *Sesbania virgata* (Cav.) Pers. **Idesia**, Arica Chile, v. 29, n. 2, p. 39-45, 2011.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, M. I.; MURPHY, A. **Fisiologia vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 858p, 2017.

VASCONCELOS, L. H. C.; VENDRUSCULO, E. P.; VASCONCELOS, R. F.; SANTOS, M. M.; SELEGUINI, A. Utilização de métodos físicos e de fitorreguladores para superação de dormência em sementes de pinha. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia-MS, v. 2, n. 4, p. 20–24, out./dez. 2015.

**Submetido em:** 02 de setembro de 2019

**Aceito em:** 31 de janeiro de 2020



# Influência da vegetação de entorno na diversidade de vespas sociais na cultura do café

Gabriel de Castro Jacques<sup>1</sup>

Bruna Sântia Silva de Araújo<sup>2</sup>

## Resumo

A cada ano, lavouras de café são tomadas por pragas e doenças que afetam a produtividade e a qualidade final dos grãos. Para tentar contornar esses problemas são utilizados produtos químicos que além de aumentar o custo de produção podem acarretar sérios problemas em longo prazo. O uso do controle biológico de pragas visa diminuir a utilização desses produtos, bem como a preservação do meio ambiente. Vespas sociais são predadoras desses insetos considerados pragas, portanto funcionam como uma alternativa eficaz no controle biológico. As armadilhas atrativas foram instaladas em duas áreas de cultura de café, uma com pomares como vegetação de entorno predominante, nomeado de Café-Pomar; a outra, com um fragmento de mata atlântica como vegetação de entorno predominante, nomeada de Café-Mata. O objetivo foi comparar a diversidade e a abundância de espécies de vespas sociais que visitaram as duas diferentes áreas. A análise de similaridade de Bray-Curtis entre as duas áreas foi de 0,45, valor baixo, mostrando a influência do entorno nas duas áreas. 208 indivíduos foram coletados, sendo 11 espécies e 4 gêneros diferentes, com índice total de diversidade de Shannon-Wiener ( $H'$ ) de 1,591. O Café-Pomar apresentou maior número de indivíduos de vespas sociais, em contrapartida, o Café-Mata apresentou maior índice de diversidade. *Polistes versicolor* foi a espécie encontrada com maior abundância nas duas áreas, espécie essa capaz de reduzir os danos causados por pragas cafeeiras e com grande potencial de ser utilizada em programas de controle biológico.

**Palavras-chave:** Polistinae. Controle Biológico. Mata Atlântica. Pomar.

## Introdução

A cultura do café é de suma relevância para o agronegócio brasileiro devido ao mercado que o produto movimentava, gerando renda aos pequenos e grandes produtores. Por ser base econômica em várias propriedades, pragas e doenças que possam vir a comprometer o sucesso da lavoura tornam-se cada vez mais preocupantes (REIS et al., 2002). Entre as pragas catalogadas, se destacam o Bicho Mineiro, *Leucoptera coffella* (Guérin-Mèneville, 1842) (Lepidoptera: Lyonetiidae) e a Broca do café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867) (Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae), pois causam sérios danos, muitas vezes irreversíveis (REIS et al., 2002).

O Brasil está entre os países que mais utiliza agrotóxicos no mundo, e o uso incorreto e excessivo de produtos químicos afetam diretamente uma larga cadeia ecológica, causando resistência de pragas e doenças, diminuindo a população de insetos polinizadores e atingindo diretamente a saúde humana

1 Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG) – Campus Bambuí. Docente. [gabriel.jacques@ifmg.edu.br](mailto:gabriel.jacques@ifmg.edu.br). Rodovia Bambuí/Medeiros, Km 5, Fazenda Varginha, Bambuí/MG, CEP 38900-000.

2 Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG) – Campus Bambuí. Discente. [brunaagro8@yahoo.com.br](mailto:brunaagro8@yahoo.com.br).

(CASSAL et al., 2014). A busca por práticas alternativas e produtos biológicos visa reduzir esse impacto causado pelos produtos químicos.

O meio onde a cultura do café é implantada influencia diretamente na diversidade de inimigos naturais que possam vir a se alojarem naquele entorno (FERNANDES, 2013). A diversificação do agroecossistema agrícola contribui para um aumento da diversidade de inimigos naturais (TOMAZELLA et al., 2018). A vegetação e o ecossistema em seu todo exercem influência direta nas comunidades de vespas sociais, pois fornecem diferentes habitats e recursos alimentares, afetando esses insetos pelas variações causadas na temperatura, umidade do ar e quantidade de sombra do ambiente (SANTOS et al., 2009).

As vespas pertencem à ordem Hymenoptera e família Vespidae (CARPENTER, 1993). Existem mais de 4.600 espécies desses insetos descritos em todo mundo, com comportamento solitário e social. As subfamílias Euminae, Massarinae e Euparaginae possuem comportamento solitário; Polistinae, Vespinae e Stenogastrinae possuem comportamento social (CARPENTER; MARQUES, 2001). Vespas da subfamília Polistiane são as únicas sociais que ocorrem no Brasil com 21 gêneros e 344 espécies (HERMES et al., 2019).

As vespas forrageiam e voltam ao ninho com as presas maceradas que são divididas entre as outras vespas na colônia e posteriormente divididas com as larvas imaturas da mesma espécie (ELISEI et al., 2010). Insetos da ordem Lepidoptera são as presas mais capturadas (cerca de 90%) por essas vespas sociais (PREZOTO et al., 2006; BICHARA-FILHO et al., 2009). Várias espécies de vespas sociais já foram relatadas como eficientes predadoras das pragas do café, como *Agelaia pallipes* (OLIVIER, 1972), *Brachygastra lecheguana* (LATREILLE, 1824), *Polistes* sp., *Polybia ignobilis* (HALIDAY, 1836), *Polybia occidentalis* (OLIVIER, 1791), *Polybia scutellaris* (WHITE, 1841), *Polybia sericea* (OLIVIER, 1971), *Protoneectarina sylveirae* (DE SAUSSURE, 1854) e *Synoeca surinama cyanea* (FABRICIUS, 1775) (PARRA et al., 1977; PERIOTO et al., 2011; REIS et al., 2002) sendo responsáveis por aproximadamente 70,0% do controle biológico em lavouras de café (REIS et al., 2002).

Para identificar as espécies ideais de vespas que realizam o controle biológico é necessário fazer o levantamento e a identificação desses insetos em ambientes predominantemente agrícolas e identificar os fatores que possam colaborar para a eficácia desses insetos no controle de pragas (PREZOTO et al., 2006). Sendo assim, o presente trabalho tem o objetivo de realizar o levantamento da diversidade e abundância de vespas sociais que visitam a cultura do café, comparando diferentes vegetações em seu entorno.

## Material e métodos

O trabalho foi desenvolvido no setor de cafeicultura pertencente ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG), Campus Bambuí. No setor há duas áreas onde estão implantadas as culturas do café. A primeira área (FIGURA 1), denominada “Café – Pomar”, é do cultivar Rubi, com 8 anos de idade, mede 5.263,41 m<sup>2</sup> e a vegetação predominante ao entorno dos pés de café é especificamente de árvores frutíferas, como: Laranja (*Citrus sinensis*), Goiaba (*Psidium guajava*), Acerola (*Malpighia emarginata*), Limão (*Citrus limonum*), Maracujá (*Passiflora edulis f. flavicarpa*), Pêssego (*Prunus persica*), entre outras.

**Figura 1** – Área “Café-Pomar”, onde em seu entorno se encontram diferentes árvores frutíferas. Seis armadilhas atrativas de vespas sociais foram distribuídas aleatoriamente em cada área de estudo.



Fonte: Google Earth (2020).

A segunda área (FIGURA 2), denominada “Café – Mata”, é do cultivar Acaíá cerrado, também com 8 anos de idade, mede 2.508,44 m<sup>2</sup> e possui em seu entorno um fragmento de Mata Atlântica com árvores de grande porte que proporcionam sombreamento em uma parte dos pés de café. Ambas as áreas possuem o mesmo sistema de manejo, com poucos cuidados químicos.

**Figura 2** – Área “Café-Mata”, onde em seu entorno se encontra uma vegetação predominante de mata fechada. Seis armadilhas atrativas de vespas sociais foram distribuídas aleatoriamente em cada área de estudo.



Fonte: Google Earth (2020).

A coleta das vespas sociais foi realizada por meio de armadilhas atrativas, sendo 6 armadilhas distribuídas de modo aleatório para cada área. Foram realizadas 11 coletas de setembro de 2018 a abril de 2019. As armadilhas foram confeccionadas com garrafas pets de 2 litros, onde foram

feitas 3 aberturas triangulares (2,0 x 2,0 x 2,0 cm) na garrafa para permitir a entrada das vespas (JACQUES et al., 2012). Dentro das armadilhas foi inserida a solução atrativa de água com mel, na proporção de 1 para 1 (SOUZA; PREZOTO, 2006). Essas foram penduradas em estacas, a aproximadamente 1,0 m do solo, e colocadas entre as linhas na rua do café.

As armadilhas ficavam expostas no campo durante uma semana, sendo posteriormente recolhidas de modo a evitar a deterioração dos insetos. As vespas capturadas pelas armadilhas atrativas eram colocadas em recipientes de plástico com álcool 70%, alfinetadas e posteriormente identificadas pelo Prof. Dr. Gabriel C. Jacques do IFMG – *Campus* Bambuí e pelo Prof. Dr. Marcos Magalhães de Souza do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais (IFSULDEMINAS) – *Campus* Inconfidentes.

A diversidade e a dominância de espécies, total e de cada área, foram calculadas com o índice de diversidade de Shannon-Wiener (H') e de dominância de Berger-Parker (Dpb), por meio do programa Past (HAMMER et al., 2005). Foi calculada também a frequência relativa de coleta de cada espécie. A abundância de indivíduos e a riqueza de espécies de cada área foram submetidas à análise de variância e as médias comparadas pelo teste t a nível de 5% de significância com o programa estatístico Past (HAMMER et al., 2005). Além disso, foi realizada também análise de similaridade (Cluster analysis) entre as faunas de vespas sociais coletadas nas duas áreas selecionadas. Para essa análise foi utilizado o índice de dissimilaridade de Bray-Curtis por meio do programa Past (HAMMER et al., 2005), que leva em consideração a ocorrência e a abundância das espécies em cada área.

## Resultados e discussão

Foram capturados 208 indivíduos de vespas sociais, de 11 espécies e 4 gêneros diferentes, com o índice de diversidade total de 1,591 (TABELA 1). O local do estudo é um ambiente muito diversificado, com habitats que oferecem às vespas maior proteção contra insetos predadores, além de alta quantidade de recursos alimentares e componentes para a sobrevivências desses vespídeos, permitindo a sobrevivência de diferentes espécies (JACQUES et al., 2015).

A espécie *Polybia punctata* du Buysson (1907) foi encontrada pela primeira vez no *Campus* Bambuí, com um significativo número de indivíduos nas duas áreas de café estudadas, colaborando para os estudos sobre diversidade já realizados neste local (JACQUES et al., 2015; JACQUES et al., 2018).

No “Café-Pomar” foram capturados 150 indivíduos, com uma média de  $13,63 \pm 3,98$  indivíduos por coleta, enquanto no Café-Mata foram capturados apenas 58 indivíduos, com uma média de  $5,27 \pm 3,31$  de vespas sociais (TABELA 1). Essa maior abundância de vespas sociais no Café-Pomar ( $p = 4,88 \times 10^{-6}$ ) pode estar relacionada à alta diversidade de árvores frutíferas em seu entorno, pois as vespas são atraídas para locais onde existem maior riqueza de recursos para a sua sobrevivência, tendo hábitos oportunistas, o que faz elas estarem em ambientes que possuam maior quantidade de insetos herbívoros (SANTOS et al., 2009). Os próprios frutos e as pragas que atacam esses pomares são utilizados na alimentação desses insetos, além das árvores que servem como local de nidificação.

Na área Café-Mata, os pés de cafés são parcialmente sombreados com árvores de grande porte, podendo ter influenciado a presença de vespas na área, pois o sombreamento pode criar uma barreira física, dificultando a localização de presas e conseqüentemente o forrageamento das vespas predadoras (AMARAL et al., 2010).

A espécie *Polistes versicolor* (OLIVER, 1917) foi a espécie mais coletada nas duas áreas estudadas, com 101 indivíduos no Café-Pomar (frequência de 67,33%) e 26 indivíduos no



Café-Mata (frequência de 44,83%). Essa alta representatividade corrobora os estudos realizados por Jacques et al. (2015), que ao levantarem a diversidade de espécies de vespas sociais do *Campus* Bambuí, encontraram essa mesma espécie como dominante, por ser uma espécie bem sinantrópica, nidificando bem em ambientes agrícolas e urbanos.

*P. versicolor* possui uma excelente capacidade predatória, principalmente de insetos da ordem lepidóptera, da qual correspondem 95% de suas presas capturadas e utilizadas na alimentação (PREZOTO et al., 2006). O bicho mineiro, *L. coffeella*, pertence a ordem Lepidoptera, e alguns estudos já mostram resultados significativos na predação dessa vespa sobre o bicho mineiro (ELISEI et al., 2010).

Entre as 11 espécies coletadas, *P. versicolor*, *Polybia ignobilis* (Haliday, 1836), *Polybia occidentalis* (OLIVIER, 1791), *Polybia sericea* (OLIVIER, 1791) e *Synoeca cyanea* (FABRICIUS, 1775) já foram relatadas como eficientes predadoras das pragas do café (ELISEI et al., 2010; PARRA et al., 1977; PERIOTO et al., 2011; REIS et al., 2002). Mesmo em baixos níveis populacionais, esses predadores contribuem para diminuição da quantidade de pragas, reduzindo os picos de infestação (DEBACH, 1951). *Polistes simillimus* Zikán, 1951, *Polistes ferreri* (Saussure, 1853), *Polybia jurinei* de Saussure (1854) e *Polybia punctata* du Buysson (1907) foram registradas forrageando sobre a cultura do café (FREITAS et al., 2015; TOMAZELLA et al., 2018), porém são necessários novos estudos para apontarem eficiência destas espécies na predação das pragas desta cultura.

No Café-Pomar e no Café-Mata as médias de riqueza de espécie por coleta foram semelhantes ( $p= 0,0261$ ), porém o índice de diversidade do Café-Mata foi maior. Isso se explica pelo índice de diversidade de Shannon-Wiener ser calculado de acordo com o número e a dominância das espécies. Como no Café-Pomar o índice de dominância foi muito alto, isso leva a uma diminuição no índice de diversidade (TABELA 1). A mata ao entorno dos pés de café possui fatores edafoclimáticos favoráveis para que a diversidade de espécies esteja em maior equilíbrio. Elementos como temperatura, luminosidade e umidade que esse ambiente proporciona influenciam a biodiversidade e a adaptação de diversos insetos e animais, refletindo diretamente a diversidade de vespas sociais no local (MACHADO et al., 1998; RICHARDS, 1978).

**Tabela 1** – Riqueza, diversidade e dominância de vespas sociais coletadas nas áreas de Café-Mata e de Café-Pomar.

Espécies	Café-Pomar		Café-Mata		Total	
	Nº de indivíduos	Frequência	Nº de indivíduos	Frequência	Nº de indivíduos	Frequência
<i>Myschocittarus rotundicollis</i> (Cameron, 1912)	2	1,33%	0	0,00%	2	0,96%
<i>Polistes ferreri</i> Saussure, 1853	3	2,00%	0	0,00%	3	1,44%
<i>Polistes simillimus</i> Zikán, 1951	11	7,33%	4	6,90%	15	7,21%
<i>Polistes versicolor</i> (Olivier, 1791)	101	67,33%	26	44,83%	127	61,06%
<i>Polybia erythrothorax</i> (Richards, 1978)	0	0,00%	1	1,72%	1	0,48%
<i>Polybia ignobilis</i> (Haliday, 1836)	4	2,67%	5	8,62%	9	4,33%
<i>Polybia jurinei</i> Saussure, 1854	8	5,33%	6	10,34%	14	6,73%

(continua...)

Tabela 1 – Continuação

Espécies	Café-Pomar		Café-Mata		Total	
	Nº de indivíduos	Frequência	Nº de indivíduos	Frequência	Nº de indivíduos	Frequência
<i>Polybia occidentalis</i> (Olivier, 1791)	8	5,33%	2	3,45%	10	4,81%
<i>Polybia punctata</i> du Buysson, 1907	3	2,00%	6	10,34%	9	4,33%
<i>Polybia sericea</i> (Olivier, 1791)	10	6,67%	2	3,45%	12	5,77%
<i>Synoeca cynea</i> (Fabricius, 1775)	0	0,00%	6	10,34%	6	2,88%
Total de indivíduos	150		58		208	
Média de indivíduos por coleta	13,63 ± 3,98a		5,27 ± 3,31b			
Riqueza de espécies (S')	9		9		11	
Média de espécies por coleta	3,72 ± 0,90a		2,45 ± 1,50a			
Índice de Shannon-Wiener (H')	1,262		1,762		1,57	
Índice de Berger-Paker (Dpb)	0,6645		0,4286		0,5805	

\*Linhas com letras diferentes diferem-se entre si pelo Teste t a 5% de significância

Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

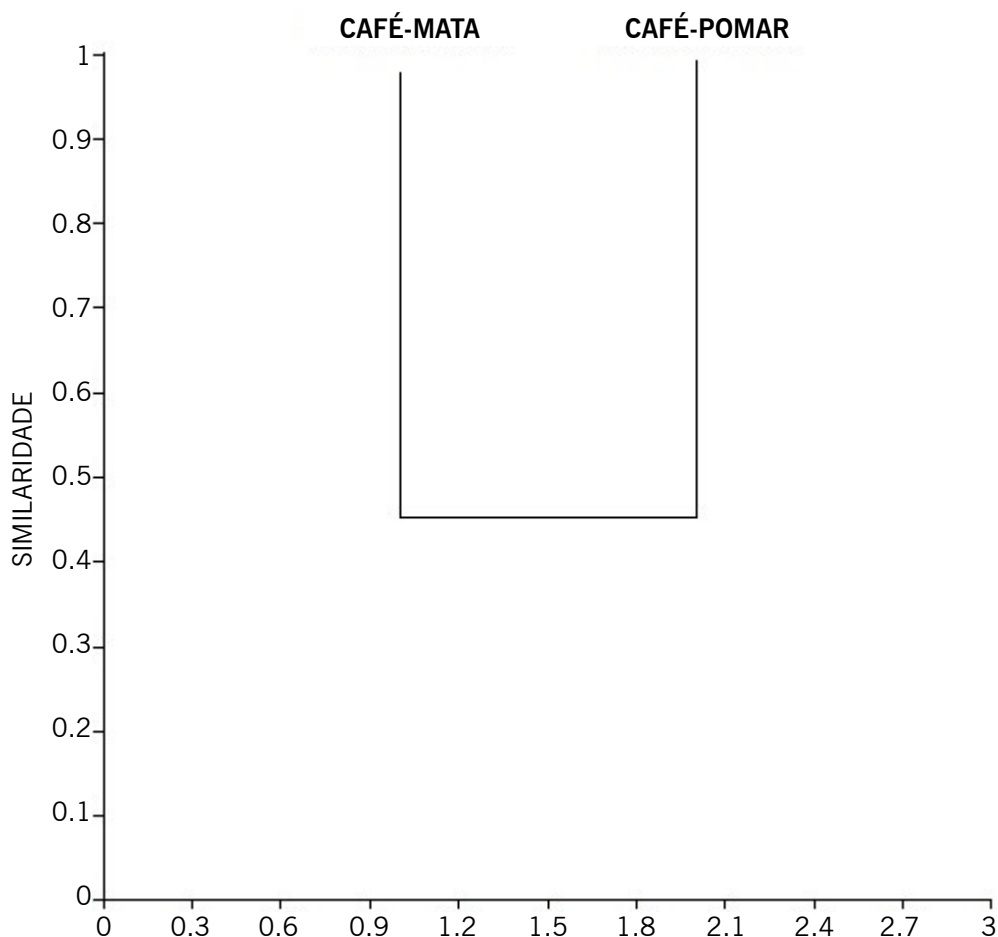
Por meio de análise de similaridade entre as duas áreas de café estudadas, observou-se similaridade de Bray-Curtis de 0,45 (Figura 3). Esse valor varia de um a zero, mostrando um valor relativamente baixo. Sendo assim, pode-se dizer que as áreas são diferentes uma da outra, mesmo com a curta distância entre as duas áreas, de 354,0 m. Além disso, mostra que o entorno influencia diretamente a diversidade de vespas que visitam a cultura do café.

As espécies *Mischocyttarus rotundicollis* (CAMERON, 1912) e *P. ferreri* foram encontradas apenas no Café-Pomar. *P. ferreri* foi registrada forrageando sobre a cultura da couve-comum, mostrando a interação desta espécie com o ambiente agrícola (JACQUES et al., 2018). As espécies *Polybia erythrothorax* Richards (1978) e *S. cynea* foram encontradas apenas no Café-Mata. *S. cynea* nidifica em troncos de árvores maiores (ELISEI et al., 2005), o que é encontrado mais próximo ao Café-Mata. Vespas sociais podem construir seus ninhos em um ambiente e forragear em outros locais (SANTOS et al., 2009).

Para compreender melhor a função das diferentes vegetações de entorno sobre a diversidade de vespas sociais em áreas agrícolas são necessários estudos complementares. Porém fica evidente que entornos diferentes de uma mesma cultura influenciam a biodiversidade de vespas sociais que a visitam, o que pode interferir no controle das pragas agrícola.



**Figura 3** – Análise de similaridade (Cluster analysis) entre as faunas de vespas sociais coletadas nas áreas de Café-Mata e de Café-Pomar, levando em consideração a ocorrência e a abundância das espécies em cada área.



Fonte: Elaborada pelos autores (2020).

## Conclusão

A vegetação predominante no entorno das diferentes áreas de café estudadas influenciou a diversidade de espécies de vespas sociais encontradas, havendo maior abundância no cultivo de café próximo ao pomar e maior índice de diversidade no cultivo de café próximo à mata. *Polistes versicolor* foi a espécie encontrada com maior abundância nas duas áreas, sendo essa espécie capaz de reduzir os danos causados por pragas cafeeiras e com grande potencial de ser utilizada em programas de controle biológico.

## Influence of surrounding vegetation on the diversity of social wasps on coffee culture

## Abstract

Every year, coffee crops are affected by pests and diseases that hamper productivity and grain quality. Chemicals used to tackle these issues not only increase production cost, but may also lead to serious problems in the long term. The use of biological control for the management of pest aims to reduce

the use of such products and preserve the environment. For being natural predators of these pest insects, social wasps are an effective alternative for biological control. Attractive traps were installed in two areas of coffee culture: one with predominant orchard vegetation, called Orchard-coffee; and the other with an Atlantic forest fragment as predominant surrounding vegetation, called Forest-coffee. The aim was to compare the diversity and abundance of social wasp species that visited the two areas. Bray-Curtis (dis-)similarity between the two areas was low, 0.45, showing surroundings influence in both areas. In total, 208 individuals of 11 species and 4 different genera were collected, with a total Shannon-Wiener (H') diversity index of 1.591. Orchard-coffee showed a higher number of social wasps, whereas Forest-coffee showed a higher diversity index. The most abundant species in both areas was *Polistes versicolor*, which can reduce damage caused by coffee pests and has a great potential use in biological control programs.

**Keywords:** Polistinae. Biological control. Atlantic Forest. Orchard.

## Referências

AMARAL, D. S.; VENZON, M.; PALLINI, A.; LIMA, P. C.; SOUZA, O. Does Vegetational Diversification Reduce Coffee Leaf Miner *Leucoptera coffeella* (Guerin-ville) (Lepidoptera: Lyonetiidae)? **Neotropical Entomology**, v. 39, n. 4, p. 543-548, 2010.

BICHARA-FILHO, C. C.; SANTOS, G. M. M.; RESENDE, J. J.; DA CRUZ, J. D.; GOBBI, N.; MACHADO, V. L. L. Foraging behavior of the swarm-founding wasp, *Polybia (Trichothorax) sericea* (Hymenoptera, Vespidae): prey capture and load capacity. **Sociobiology**, v. 53, p. 61–69, 2009.

CARPENTER, J. M. Biogeographic patterns in the Vespidae (Hymenoptera): two views of Africa and South America. In: GOLDBLATT, P. (org). **Biological relationships between Africa and South America**. New Haven: Yale University, 1993, p. 139-155.

CARPENTER, J. M.; MARQUES O. M., **Contribuição ao Estudo dos Vespídeos do Brasil. Universidade Federal da Bahia, Departamento de Fitotecnia**. Série Publicações Digitais, v. 2, n. 1, p. 147, 2001.

CASSAL, V. B.; AZEVEDO, F. L.; FERREIRA, P. R.; SILVA, G. D.; SIMAO, R. S. Agrotóxicos: uma revisão de suas consequências para a saúde pública. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental – REGET**, Santa Maria, v. 18, n. 1, p. 437-445, abril, 2014.

DEBACH, P. The necessity for an ecological approach to pest control on citrus in California. **Journal of Economic Entomology**, v. 44, p. 443-7, 1951.

ELISEI, T.; RIBEIRO JUNIOR, C.; GUIMARAES, D. L.; PREZOTO, F. Foraging Activity and Nesting of Swarm-Founding Wasp *Synoeca cyanea* (Hymenoptera: Vespidae, Polistinae). **Sociobiology**, v. 46, n. 2, p. 1-12, 2005.

ELISEI, T.; NUNES, J. V.; RIBEIRO JUNIOR, C.; FERNANDES JUNIOR, A. J.; PREZOTO, F. Uso da vespa social *Polistes versicolor* no controle de desfolhadores de eucalipto. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 45, n. 9, p. 958-964, set. 2010.

FERNANDES, L. G. **Diversidade de inimigos naturais de pragas do cafeeiro em diferentes sistemas de cultivo**. 2013. 200p. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Lavras, Lavras.

FREITAS, J. L.; PIRES, E. P.; OLIVEIRA, T. T. C.; SANTOS, N. L.; SOUZA, M. M. Vespas sociais (Hymenoptera: Vespidae) em lavouras de *Coffea arabica* L. (Rubiaceae) no Sul de Minas Gerais. **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre, v. 7, n. 3, p. 67-77, set. 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.18406/2316-1817v7n32015684>

HAMMER, O.; HARPER, D. A. T.; RYAN, P. D. Past: paleontological statistics software package for education and data analysis. **Palaeontologica Electronica**, v. 4, p. 1-9. 2005.

HERMES, M. G.; SOMAVILLA, A.; ANDENA, S. R. Vespidae in **Catálogo Taxonômico da Fauna do Brasil**. PNUD. Disponível em: <<http://fauna.jbrj.gov.br/fauna/faunadobrasil/4019>>. Acesso em: 07 nov. 2019.

JACQUES, G. C.; CASTRO, A. A.; SOUZA, G. K.; SILVA-FILHO, R.; SOUZA, M. M.; ZANUNCIO, J. C. Diversity of social wasps in the Campus of the “Universidade Federal de Viçosa” in Viçosa, Minas Gerais State, Brazil. **Sociobiology**, v. 59, n. 3, p. 1053-1062, 2012.

JACQUES, G. C.; SOUZA, M. M.; COELHO, H. J.; VICENTE, L. O.; SILVEIRA, L. C. P. Diversity of Social Wasps (Hymenoptera: Vespidae: Polistinae) in an Agricultural Environment in Bambuí, Minas Gerais, Brazil. **Sociobiology**, v. 62, n. 3, p. 339-445, set. 2015.

JACQUES, G. C.; PIKART, T. G.; SANTOS, V. S.; VICENTE, L. O.; SILVEIRA, C. P. S. Niche overlap and daily activity pattern of social wasps (Vespidae: Polistinae) in kale crops. **Sociobiology**, v. 65, n. 2, p. 312-319, jun. 2018.

MACHADO, A. B. M.; FONSECA, G. A. B.; MACHADO, R. B.; AGUIAR, L. M. S.; LINS, L. V. **Livro Vermelho das Espécies Ameaçadas de Extinção da Fauna de Minas Gerais**. Ministério do Meio Ambiente, v. 2, p. 605, 1998.

PARRA, J. R. P.; GONÇALVES, W.; GRAVENA, S.; MARCONATO, A. R. Parasitos e predadores do bicho-mineiro do cafeeiro *Perileucoptera coffeella* (Guérin-Méneville, 1842) em São Paulo. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 4, p. 138-143, ago. 1977.

PERIOTO, N. W.; LARA, R. I. R.; SANTOS, E. F. Estudo Revela Presença de Novos Inimigos Naturais de Pragas Da Cafeicultura-II. Vespas Predadoras. **Revista Pesquisa e Tecnologia**, v. 8, n. 2, dez. 2011.

PREZOTO, F.; PREZOTO, H. H. S.; MACHADO V. L.; ZANUNCIO, J. C. Prey captured and used in *Polistes versicolor* (Olivier) (Hymenoptera: Vespidae) nourishment. **Neotropical Entomology**, v. 35, n. 5, p. 707-709, set./out. 2006.

REIS, P. R.; SOUZA, J. C.; VENZON, M. Manejo ecológico das principais pragas do cafeeiro. **Informe Agropecuário**, v. 214, n. 23, p. 83-99, 2002.

RICHARDS, O. W. **The social wasps of the Americas excluding the Vespinae**. p. 580, 1978.

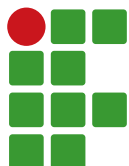
SANTOS, G. M. M.; CRUZ, J. D.; MARQUES, O. M.; GOBBI, N. Diversidade de Vespas Sociais (Hymenoptera: Vespidae) em Áreas de Cerrado na Bahia. **Neotropical Entomology**, v. 38, n. 3, p. 317-320. mai./jun. 2009.

SOUZA, M. M.; PREZOTO, F. Diversity of social wasps (Hymenoptera, Vespidae) in Semideciduous Forest and Cerrado (Savanna) regions in Brazil. **Sociobiology**, v. 47, n. 1, p.135-147, jan. 2006.

TOMAZELLA, V. B.; JACQUES, G. C.; LIRA, A. C.; SILVEIRA, L. C. P. Visitation of Social Wasps in Arabica Coffee Crop (*Coffea arabica* L.) Intercropped with Different Tree Species. **Sociobiology**, v. 65, n. 2, p. 299-301. 2018.

**Recebido em:** 14 de novembro de 2019

**Aceito em:** 23 de março de 2020



# Análise espaço-temporal do rompimento da barragem de rejeitos no município de Brumadinho-MG

Jéssica de Cássia Leopoldino<sup>1</sup>

Camila Souza dos Anjos<sup>2</sup>

Débora Paula Simões<sup>3</sup>

Luiz Flávio Reis Fernandes<sup>4</sup>

## Resumo

A atividade mineradora consiste em uma das mais importantes atividades econômicas tanto quanto no mundo. As atividades de mineração são reconhecidamente de elevado impacto ambiental. Devido ao tamanho de algumas operações, a quantidade de carga movimentada e os rejeitos gerados, a mineração tem representado riscos para diversas regiões e populações, eventualmente afetadas por acidentes e mecanismos ineficientes de deposição e monitoramento. O Sensoriamento Remoto tem sido cada vez mais utilizado para mapeamento de grandes áreas ou áreas de difícil acesso, por meio dele, é possível obter informações sobre objetos ou fenômenos na superfície da Terra sem que haja contato físico com eles, constituindo-se em uma importante fonte de dados que pode ser utilizada para as mais diversas finalidades. As imagens utilizadas em Sensoriamento Remoto proporcionam uma visão sinóptica e multitemporal de grandes áreas da superfície terrestre, sendo uma alternativa viável em estudos ambientais. O presente trabalho tem como objetivo avaliar a extensão da área afetada pelo rompimento da barragem de rejeitos da companhia Vale na mina do Córrego do Feijão, no município de Brumadinho - MG, ocorrido no dia 25 de janeiro de 2019, que causou um impacto ambiental que será sentido por anos. Para analisar a dimensão do impacto ambiental, foram utilizadas imagens de satélite da constelação Planet com resolução espacial de 3,0 metros. A metodologia utilizada foi baseada no processamento digital de imagens utilizando o *software* PCI Geomatics e o *software* ENVI 5.3, com os quais foi possível quantificar a área afetada. Dois diferentes métodos foram utilizados e os valores obtidos foram comparados com os valores divulgados pela Secretaria de Estado de Meio-Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Minas Gerais. Como resultado obteve-se uma área de 2,964096 m<sup>2</sup>, desde a barragem até o rio Paraopeba.

**Palavras-chave:** Sensoriamento Remoto, Impacto Ambiental, Processamento Digital de Imagens.

## Introdução

Nos últimos 50 anos a exposição das pessoas aos riscos de desastres vem crescendo no Brasil e no mundo mais rapidamente do que as capacidades de redução da vulnerabilidade, resultando em intensos e extensos (no tempo e no espaço) impactos ambientais (FREITAS et al., 2016).

1 Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais (IFSULDEMINAS), *Campus* Inconfidentes. Discente. [jdecassialeopoldino@gmail.com](mailto:jdecassialeopoldino@gmail.com). Praça Tiradentes, 416, Inconfidentes/MG, 37576-000.

2 IFSULDEMINAS, *Campus* Inconfidentes. Professora EBTT. [camila.lacerda@ifsuldeminas.edu.br](mailto:camila.lacerda@ifsuldeminas.edu.br).

3 IFSULDEMINAS, *Campus* Inconfidentes. Professora EBTT. [debora.simois@ifsuldeminas.edu.br](mailto:debora.simois@ifsuldeminas.edu.br).

4 IFSULDEMINAS, *Campus* Inconfidentes. Professor EBTT. [luiz.flavio@ifsuldeminas.edu.br](mailto:luiz.flavio@ifsuldeminas.edu.br).

A Resolução nº 01/86 do CONAMA, de 23 de janeiro de 1986, em seu art. 1º define impacto ambiental como:

Qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam a saúde, a segurança e o bem-estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota e a qualidade dos recursos ambientais (BRASIL, 1986).

No Brasil, a atividade mineradora consiste em uma das mais importantes atividades econômicas, sendo reconhecidamente de elevados impactos ambientais. Devido ao tamanho de algumas operações, a quantidade de carga movimentada e os rejeitos gerados, a mineração tem representado riscos para diversas regiões e populações, eventualmente afetadas por acidentes e mecanismos ineficientes de deposição e monitoramento (BNDES, 2017).

O rompimento da barragem de rejeitos na mina do Córrego do Feijão, no município de Brumadinho-MG, ocorrido no dia 25 de janeiro de 2019, um dos maiores desastres de mineração do Brasil, resultou na morte de 270 pessoas e no lançamento de aproximadamente 11,7 milhões de metros cúbicos de lama ao meio ambiente. As alterações detectadas apontam para a ocorrência de graves impactos ambientais e socioeconômicos decorrentes do volume e potencial tóxico do rejeito acumulado (PEREIRA et al., 2019).

Devido à magnitude da tragédia e à dificuldade de acesso as áreas afetadas as geotecnologias, representadas por imagens aéreas ou orbitais, se mostram uma importante aliada para o estudo da dimensão espacial do desastre.

Segundo Florenzano (2007), podemos definir Sensoriamento Remoto (SR), como a tecnologia que permite obter imagens e outros tipos de dados, da superfície terrestre, por meio da captação e do registro da energia refletida ou emitida pela superfície.

O SR, portanto, tem sido uma técnica bastante utilizada nos casos de estudos ambientais, pois permite analisar uma grande área de interesse sem ser necessário o contato direto com ela, uma vez que o SR faz uso de imagens de satélites, medindo a radiação eletromagnética refletida ou emitida pelos alvos na superfície terrestre e disponibilizando essas informações numa forma passível de ser interpretada.

Neste contexto, estudos utilizando imagens de satélites aliadas às técnicas de Processamento Digital de Imagens (PDI), têm se intensificado e demonstrado sua importância na análise de desastres ambientais. Destacam-se Silva et al. (2018) que realizaram uma análise espaço-temporal do desastre ambiental ocorrido em Mariana-MG através do PDI.

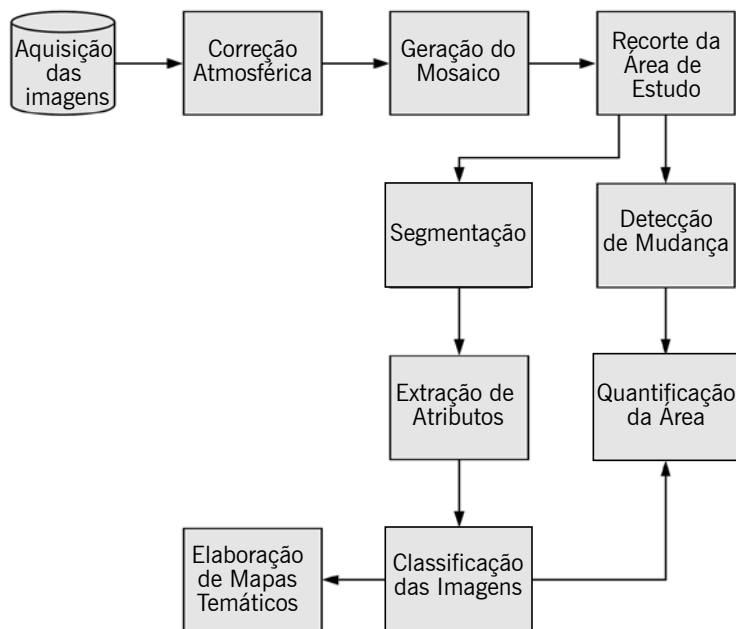
Objetivou-se realizar uma análise espaço-temporal da área afetada pelo rompimento da barragem de rejeitos no município de Brumadinho-MG, utilizando imagens de satélite. Tal análise visa quantificar a área afetada por meio de detecção de mudança entre imagens anteriores e posteriores ao desastre ambiental.

## Material e métodos

Para execução da análise espaço-temporal foram utilizadas imagens de satélite da constelação Planet, de duas datas distintas, ortorretificadas com resolução espacial de 3,0 metros cada. Os *softwares* PCI *Geomatics* 2018 e ENVI 5.3 foram utilizados para o processamento digital das imagens; e o *software* QGIS 2.14.8 para elaboração dos mapas temáticos e quantificação da área afetada.

A metodologia utilizada para a execução segue as etapas apresentadas na Figura 1.

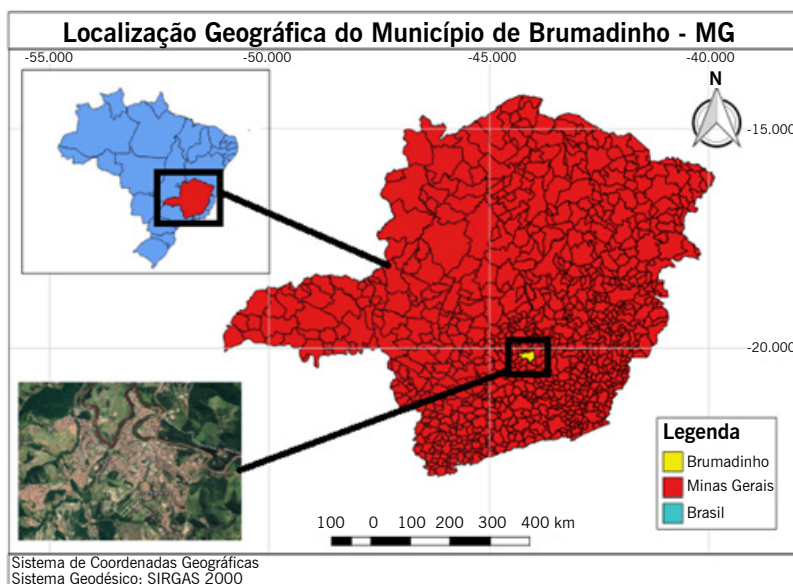
**Figura 1** – Etapas da metodologia.



**Fonte:** Elaborado pelos autores (2019).

A primeira etapa consistiu na aquisição das imagens de satélite do município de Brumadinho-MG. A localização geográfica do município pode ser vista na Figura 02.

**Figura 2** – Localização geográfica do município de Brumadinho-MG.



**Fonte:** Elaborado pelos autores (2019).

As imagens do sensor PlanetScope da constelação Planet, são compostas por 4 bandas espectrais (azul, verde, vermelho e infravermelho próximo). As imagens são referentes a duas datas distintas: anterior ao desastre referente ao dia 22 de janeiro de 2019 e posterior ao desastre referente



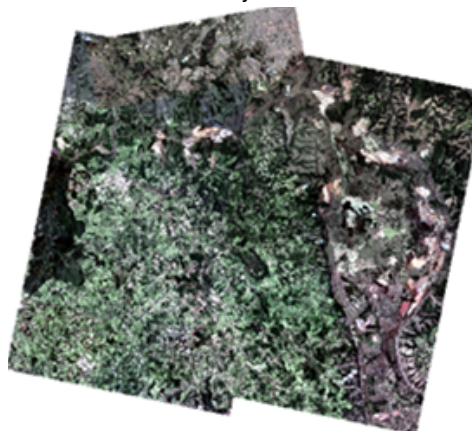
ao dia 1º de fevereiro de 2019; destaca-se que o desastre ocorreu no dia 25 de janeiro de 2019 e as imagens utilizadas foram as mais próximas possíveis da data do ocorrido.

A segunda etapa constituiu-se na realização da correção atmosférica das imagens que compõem cada cena, tal processamento foi realizado utilizando o modelo ATCOR presente no *software* PCI Geomatics 2008. As imagens originais foram disponibilizadas na grandeza radiométrica da radiância sendo transformadas para reflectância de superfície após o procedimento de correção atmosférica. A correção atmosférica é necessária para reduzir o efeito da interferência da atmosfera sobre os valores registrados em cada imagem. A atmosfera interage com a radiação eletromagnética, provocando significativas alterações no fluxo radiante proveniente do alvo. As principais evidências desses efeitos sobre a imagem são a diminuição do brilho da superfície em regiões espectrais específicas e a presença de névoa, com perda de nitidez, nas regiões dos menores comprimentos de onda (LATORRE et al., 2002).

Após realizar a correção atmosférica das imagens, a terceira etapa constituiu-se em gerar os mosaicos referentes a cada data, visto que cada data possui várias imagens e para avaliar a área de interesse foi necessário unir essas imagens em um mosaico.

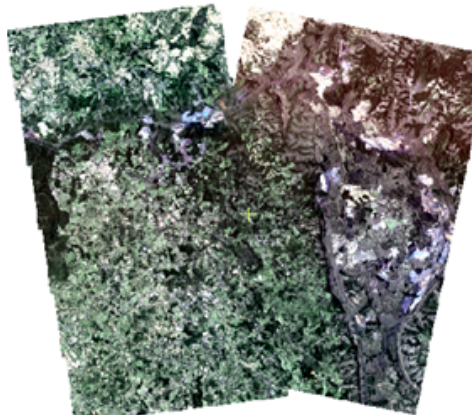
As Figuras 3 e 4 mostram os mosaicos gerados para cada data usando a composição colorida 3R2G1B. Para a geração dos mosaicos não foram realizadas normalizações ou alterações dos valores dos pixels das imagens com a intenção de manter a integridade da reflectância registrada pelo sensor.

**Figura 3** – Mosaico de imagens referente ao dia 22 de janeiro de 2019.



**Fonte:** Elaborado pelos autores (2019).

**Figura 4** – Mosaico de imagens referente ao dia 01 de fevereiro de 2019.



**Fonte:** Elaborado pelos autores (2019).

Na quarta etapa foram realizados os recortes sobre os mosaicos correspondentes à área afetada pelo rompimento da barragem em cada uma das datas.

A quinta etapa realizada foi a detecção de mudança. De acordo com Singh (1989), em Sensoriamento Remoto, detecção de mudança é a identificação de alterações na superfície terrestre por meio de imagens de satélite, da mesma área, coletadas em diferentes datas. A detecção de mudança foi realizada em dois *softwares*, *PCI Geomatics* e ENVI 5.3, utilizando o método da subtração de imagens pixel a pixel.

Neste método ao subtrair uma imagem da outra as áreas onde ocorreram as mudanças de cobertura do solo são destacadas.

Para quantificar a área afetada foi usado o *software* QGIS 2.14.8, em que se considerou a área da barragem e toda área afetada até o rio Paraopeba, não sendo considerado o rio Paraopeba, pois com as imagens obtidas não foi possível quantificar toda sua extensão.

A sexta etapa constituiu-se na classificação das imagens, que consiste em atribuir significado aos *pixels* em função de suas propriedades numéricas. Segundo Novo (2010), as técnicas de classificação visam, em última análise, atribuir a cada *pixel* um rótulo em função de suas propriedades espectrais e/ou espaciais. Para este trabalho foi usada a técnica de classificação supervisionada *Support Vector Machine* (SVM). Segundo Campbell (1996), a classificação supervisionada pode ser informalmente definida como o processo no qual amostras de identidade conhecida são utilizadas para classificar *pixels* de identidade desconhecida.

Para a classificação supervisionada das imagens foram determinadas seis diferentes categorias de uso e ocupação do solo: Vegetação Arbórea, Vegetação Rasteira, Rejeitos, Mineração/Solo Exposto, Água e Área Urbana. Todas as classes identificadas na cena foram inseridas na chave de classificação.

O processo de classificação supervisionada foi feito em etapas no *software PCI Geomatics*:

- Inicialmente realizou-se a segmentação das imagens, que segundo Vasconcelos e Novo (2004) é necessária para agrupar os “*pixels*” adjacentes e semelhantes gerando regiões homogêneas.
- Em seguida executou-se a extração de atributos, a fim de extrair dados provenientes dos dados originais. Os atributos gerados foram dos tipos espectrais e geométricos.
- Determinaram-se assim as classes de interesse: Vegetação Arbórea, Vegetação Rasteira, Rejeitos, Mineração/Solo Exposto, Água e Área Urbana.
- Coletaram-se amostras que representam cada uma das classes.
- Realizou-se então a classificação das imagens utilizando o algoritmo de classificação SVM do *software PCI Geomatics*.
- Por último, realizou-se a avaliação da qualidade das classificações no *software PCI Geomatics*, em que se utilizaram novas amostras de validação que representam cada uma das classes. O método de avaliação da qualidade utilizado foi o índice Kappa.

Congalton (1991) relata que o uso do coeficiente Kappa é satisfatório na avaliação da precisão de uma classificação temática, pelo fato de levar em consideração toda a matriz de confusão no seu cálculo, inclusive os elementos de fora da diagonal principal, os quais representam as discordâncias na classificação, diferentemente da exatidão global, por exemplo, que utiliza somente os elementos diagonais (concordância real).

O Quadro 1 abaixo apresenta os níveis de desempenho da classificação para os valores de Kappa obtidos.

**Quadro 1** – Índice Kappa e o correspondente desempenho da classificação.

Índice Kappa	Desempenho
$< 0$	Péssimo
$0 < k \leq 0,2$	Ruim
$0,2 < k \leq 0,4$	Razoável
$0,4 < k \leq 0,6$	Bom
$0,6 < k \leq 0,8$	Muito Bom
$0,8 < k \leq 1,0$	Excelente

**Fonte:** Adaptado de Landis e Koch (1977).

## Resultados e discussão

As Figuras 5 e 6 a seguir mostram os recortes feitos sobre os mosaicos correspondentes a cada data.

**Figura 5** – Recorte da área de estudo- 22 de janeiro de 2019.



**Fonte:** Elaborado pelos autores (2019).

**Figura 6** – Recorte da área de estudo - 1º de fevereiro de 2019.



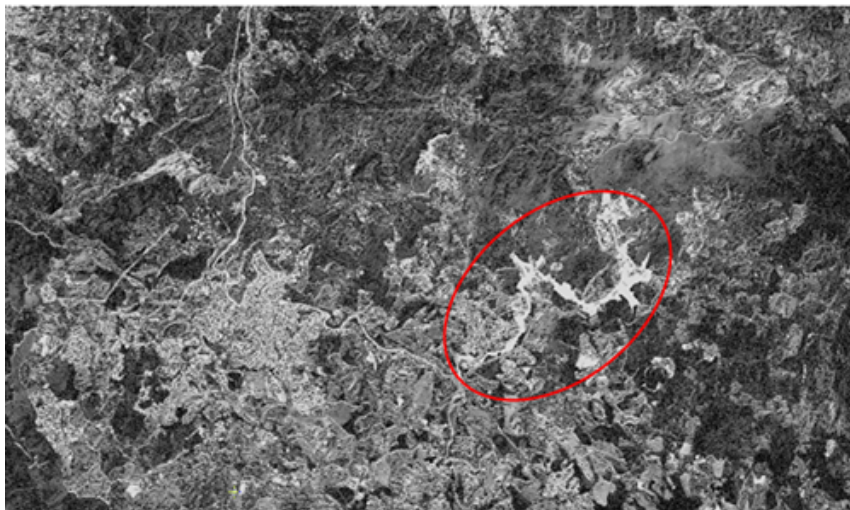
**Fonte:** Elaborado pelos autores (2019).



A partir dos recortes é possível perceber a extensão da área afetada após o rompimento da barragem, como mostra a área circulada em vermelho na Figura 6.

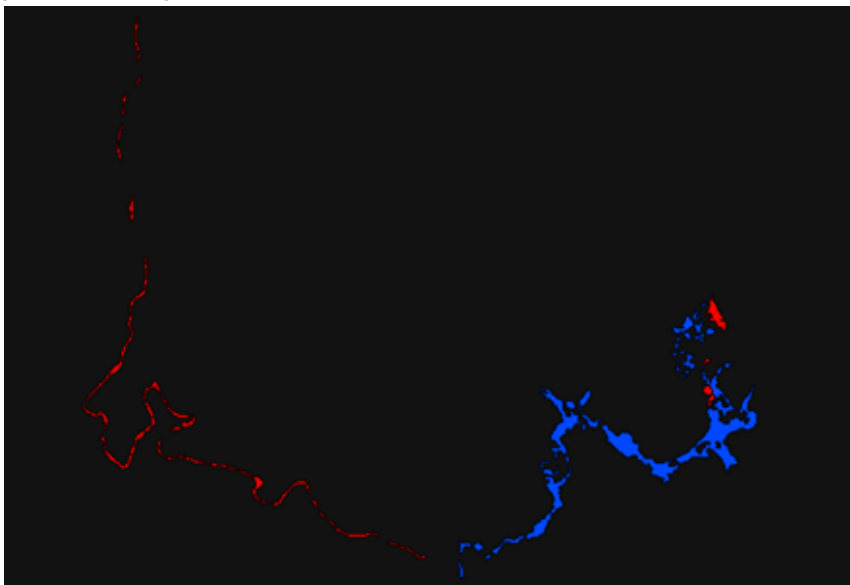
Os procedimentos de detecção de mudança realizados nos *softwares* PCI Geomatics e ENVI 5.3, podem ser vistos nas Figuras 7 e 8, respectivamente:

**Figura 7** – Detecção de mudança realizada no *software* PCI Geomatics.



**Fonte:** Elaborado pelos autores (2019).

**Figura 8** – Detecção de mudança realizada no *software* ENVI 5.3.



**Fonte:** Elaborado pelos autores (2019).

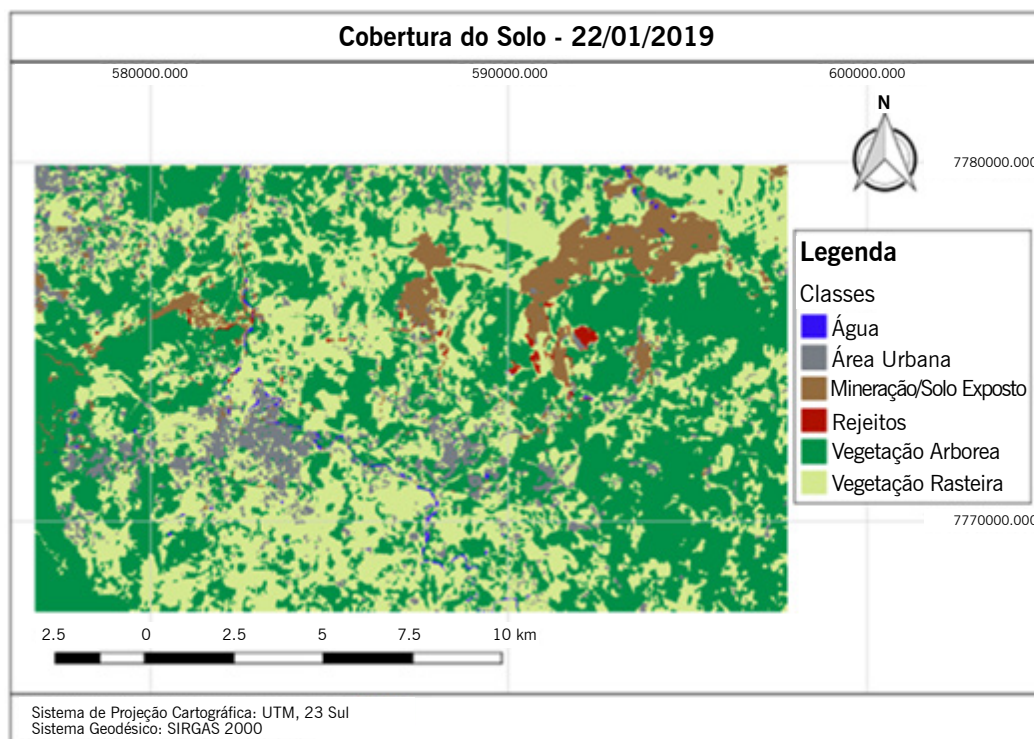
A área destacada em branco na Figura 7 representa as maiores mudanças detectadas pelo processamento realizado indicando a presença de rejeitos. Toda a área destacada na Figura 8 (vermelha e azul) representa a presença de rejeitos. Porém a diferença de cores pode ser explicada pela diferença na cobertura do solo antes do rompimento: a área representada em vermelho era coberta por água limpa e a área em azul era coberta por vegetação, construções e solo exposto.

Nas Figuras 7 e 8 é possível observar a mudança ocorrida na área de estudo após o rompimento da barragem. Destaca-se que na detecção de mudança realizada no *software* ENVI 5.3 foi possível utilizar limiares para isolar a área atingida, retirando do processo as pequenas mudanças, de forma que a área afetada pudesse ser quantificada.

A área afetada quantificada pelo método de detecção de mudanças foi de 1,64792 km<sup>2</sup>, desde a barragem até o rio Paraopeba.

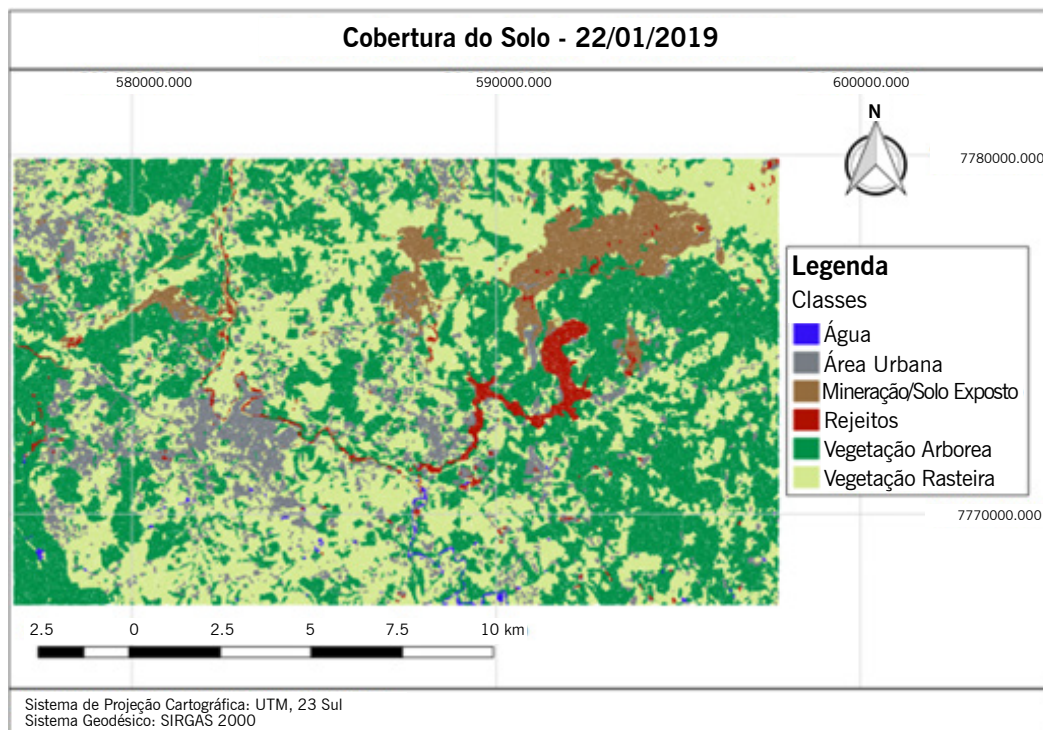
Para realizar o mapeamento da cobertura do solo em ambas as datas e nova quantificação da área afetada foi utilizado o método de classificação de imagens. As classificações das imagens, utilizando o *software* PCI Geomatics, realizadas para cada data podem ser vistas nas Figuras 9 e 10.

**Figura 9** – Classificação das imagens - anterior ao rompimento da barragem.



**Fonte:** Elaborado pelos autores (2019).

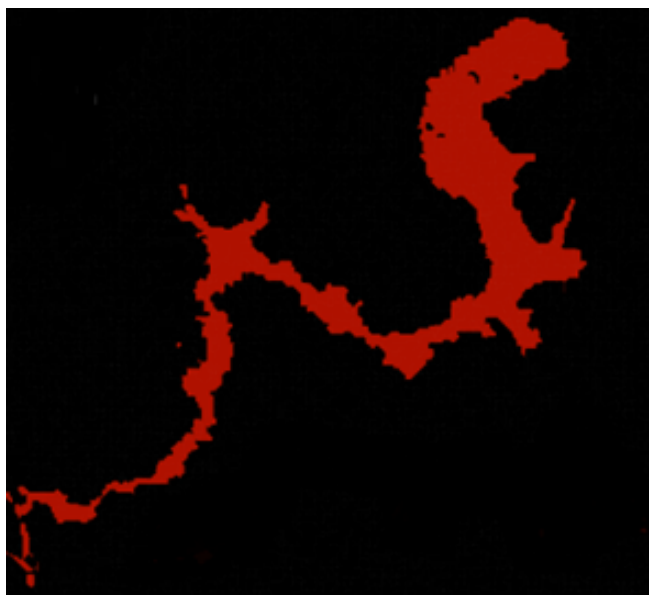
**Figura 10** – Classificação das imagens - posterior ao rompimento da barragem.



**Fonte:** Elaborado pelos autores (2019).

A partir da classificação das imagens com data posterior ao desastre, também foi possível quantificar a área atingida pelos rejeitos, desde a barragem até o rio Paraopeba. A Figura 11 ilustra a área que foi quantificada a partir da classificação das imagens. As demais classes foram representadas na cor preto apenas para isolar visualmente a classe rejeitos.

**Figura 11** – Área quantificada a partir da classificação.



**Fonte:** Elaborado pelos autores (2019).

A área quantificada a partir da classificação das imagens, conforme Figura 11, foi de 2,964096 km<sup>2</sup>, desde a barragem até o rio Paraopeba. A diferença de área detectada entre a classificação de imagens e a detecção de mudança foi de 1,31618 km<sup>2</sup>. Para verificar qual dos métodos apresentou resultado mais coerente foi utilizada a quantificação de área realizada pela Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Minas Gerais (SEMAD), cuja metodologia não foi divulgada.

Os valores encontrados, a partir da classificação de imagens, se assemelham ao estudo realizado pela SEMAD, que obteve um valor igual a 2,90 km<sup>2</sup>, considerando a área da barragem e toda área afetada até o rio Paraopeba. A área quantificada a partir da classificação obteve o valor mais próximo, em comparação a área estimada pela detecção de mudança, com diferença de 0,064096 km<sup>2</sup> a mais do que a área estimada pela SEMAD.

Os valores obtidos pela detecção de mudança apresentam resultados muito divergentes do divulgado pela SEMAD, o que se deve ao fato da aplicação de detecção de mudança realizada pelo *software* ENVI considerar apenas as principais mudanças.

A fim de verificar a qualidade das classificações de imagens foi realizada no *software PCI Geomatics* a análise de acurácia e o cálculo do índice Kappa para as duas classificações.

As Tabelas 1 e 2 apresentam a distribuição da acurácia e dos valores de Kappa para cada uma das classes definidas para as imagens correspondentes a cada data.

**Tabela 1** – Acurácia e valores de Kappa para cada classe – 22/01/2019.

Classes	Acurácia do Produtor (%)	Acurácia do Usuário (%)	Índice Kappa
Mineração/Solo Exposto	100,00	90,91	0,89
Área Urbana	57,14	100,00	1,00
Vegetação Rasteira	87,71	70,59	0,63
Vegetação Arbórea	78,95	88,24	0,84
Rejeitos	94,44	89,47	0,86
Água	100,00	100,00	1,00

Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

**Tabela 2** – Acurácia e valores de Kappa para cada classe – 01/02/2019.

Classes	Acurácia do Produtor (%)	Acurácia do Usuário (%)	Índice Kappa
Mineração/Solo Exposto	100,00	81,82	0,78
Área Urbana	90,00	100,00	1,00
Vegetação Rasteira	76,92	100,00	1,00
Vegetação Arbórea	100,00	92,31	0,90
Rejeitos	100,00	87,50	0,86
Água	100,00	100,00	1,00

Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

Analisando os valores de Kappa para cada uma das classes é possível observar que na imagem de 22 de janeiro de 2019 a classe que obteve menor índice Kappa na classificação foi Vegetação Rasteira, apresentando um valor de Kappa de 0,63, considerado Muito Bom, de acordo com Landis e Koch (1977). Já em 1º de fevereiro de 2019 a classe que obteve menor índice Kappa foi Mineração/Solo Exposto, apresentando um valor de Kappa de 0,78, também considerado Muito Bom segundo os mesmos autores.



As Tabelas 3 e 4 mostram os valores de acurácia total e índice Kappa geral para os dias 22 de janeiro de 2019 e 1º de fevereiro de 2019, respectivamente.

**Tabela 3** – Precisão da classificação referente ao dia 22/01/2019.

<b>Estatísticas Gerais</b>	<b>Valores</b>
Exatidão Global	86,11%
Índice Kappa	0,83

**Fonte:** Elaborado pelos autores (2019).

**Tabela 4** – Precisão da classificação referente ao dia 01/02/2019.

<b>Estatísticas Gerais</b>	<b>Valores</b>
Exatidão Global	92,59%
Índice Kappa	0,91

**Fonte:** Elaborado pelos autores (2019).

Analisando a validação dos resultados, conclui-se que ambas as classificações obtiveram um desempenho Excelente, conforme Landis e Koch (1977), devido ao fato de o índice Kappa ser superior a 0,8.

## Conclusão

Através do processamento digital de imagens foi possível avaliar a extensão do desastre ambiental desde o local do rompimento da barragem de rejeitos em Brumadinho – MG até o rio Paraopeba, mostrando o quanto foi significativa a mudança na cobertura do solo.

A área afetada pelo desastre, desde a barragem até o rio Paraopeba, foi quantificada por detecção de mudança e pela classificação da imagem, em que a área quantificada na classificação obteve maior precisão quando comparada com estudos anteriores. O fato de a área quantificada na detecção de mudança não obter uma boa precisão pode ser explicado pela inserção de parâmetros pelo algoritmo do *software* ENVI 5.3 que visando isolar a área afetada a subestimou, considerando apenas as mudanças mais significativas.

Com a classificação supervisionada das imagens foi possível categorizar a cobertura de uso e ocupação do solo em seis tipos de classes: Vegetação Arbórea, Vegetação Rasteira, Rejeitos, Mineração/Solo Exposto, Água e Área Urbana. Foi possível legitimar as classificações realizadas por meio da Exatidão Global e índice Kappa encontrados, mostrando que o desempenho do classificador foi excelente. Por meio da classificação de imagens também foi possível comprovar e quantificar a grande devastação ocasionada pelo rompimento da barragem.

Sugere-se para trabalhos futuros, a quantificação da área afetada desde a barragem até toda extensão do rio Paraopeba, a fim de avaliar a área total atingida pelo desastre.

## Agradecimentos

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais – IFSULDEMINAS pelo suporte financeiro concedido.

## Spatial and temporal analysis of the collapse of the tailings dam in Brumadinho, Brazil

### Abstract

Mining is an important economic activity in the world. Mining activities are known for their high environmental impacts. Considering the high magnitude of some operations and amounts of tailings produced, the mining activity has represented a risk for several regions and populations, which can be affected by accidents and inefficient disposal and monitoring systems. Remote sensing has been frequently used to map areas that are large or difficult to access; it enables the obtaining of information on objects or phenomena on the Earth's surface without requiring physical contact, making it an important source of data collection that can be used for several purposes. Images used in remote sensing provide a synoptic and multitemporal view of large areas and are an alternative for environmental studies. The objective of this work was to evaluate the extension of the area affected by the collapse of the tailings dam of the Vale S.A. company in the Córrego do Feijão stream mine, in the municipality of Brumadinho, state of Minas Gerais, Brazil, which occurred on January 25, 2019, causing an environmental impact that will last for many years. The dimension of this environmental impact was analyzed using imagery of the Planet's satellite constellation with spatial resolution of 3.0 meters. The methodology used was based on digital image processing, using the *PCI Geomatics* and *ENVI 5.3* software, which made possible the quantification of the affected area. Two different methods were used and the results were compared to those provided by the State Secretariat for Environment and Sustainable Development of Minas Gerais, Brazil. The results showed an affected area of 2.964096 km<sup>2</sup>, from the Brumadinho dam to the Paraopeba River.

**Keywords:** Remote Sensing, Ambiental Impact, Digital Image Processing.

### Referências

BNDES. **Desafios da mineração: desenvolvimento e inovação para redução dos impactos ambientais e sociais.** Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/conhecimento/noticias/noticia/inovacao-tecnologia-mineracao-metals>. Acesso em: 25 de nov.2019.

BRASIL. Decreto nº 88.351 de 23, de Janeiro de 1986. **Resolução CONAMA.** In: Diário Oficial da União. Brasília, 17 de jan. de 1986.

CAMPBELL, J. B. **Introduction to remote sensing.** New York: Ed. The Guilford Press, 1996. 622 p.

CONGALTON, R. G. **Uma revisão da avaliação da precisão das classificações de dados detectados remotamente.** *Sensoriamento remoto do ambiente*, 1991, v. 37, n.1, p.35-46.

DA SILVA, G. F, DE CARVALHO, M. V.A., CRUZ, C. B. M. Análise espaço-temporal do desastre ambiental em Mariana-MG a partir das geotecnologias. **Revista Continentes**, n. 13, p. 49-67, 2018.

FIGUEIREDO, G. C.; VIEIRA, C. A. O. Estudo do comportamento dos índices de Exatidão Global, Kappa e Tau, comumente usados para avaliar a classificação de imagens do sensoriamento remoto. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, v. 13, p. 5755-5762, 2007.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em Sensoriamento Remoto**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

FREITAS, C. M., SILVA, M. A., MENEZES, F. C. O desastre na barragem de mineração da Samarco: fratura exposta dos limites do Brasil na redução de risco de desastres. **Ciência e Cultura**, v. 68, n. 3, p. 25-30, 2016.

LANDIS, J. R., KOCH, G. G. An application of hierarchical kappa-type statistics in the assessment of majority agreement among multiple observers. **Biometrics**, p. 363-374, 1977.

LATORRE JÚNIOR, M. O. A. C., CARVALHO, A. P. F., SHIMABUKURO, Y. E., Correção atmosférica: conceitos e fundamentos. **Revista Espaço e Geografia**, v. 5, n. 1, 2010.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto, Princípios e Aplicações**. São Paulo: Edgard Blücher, 2010.

PEREIRA, L. F., CRUZ, B. G., GUIMARÃES, R. M. F. Impactos do rompimento da barragem de rejeitos de Brumadinho, Brasil: uma análise baseada nas mudanças de cobertura da terra. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 4, n. 2, p. 122-129, 2019.

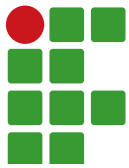
SEMAD. **Nota de esclarecimento 7 – Desastre barragem B1**. Disponível em: <http://www.meioambiente.mg.gov.br/noticias/3745-nota-de-esclarecimento-7-desastre-barragem-b1>. Acesso em: 23 de nov. 2019.

SINGH, A. (1989). Revise as técnicas de detecção de alterações digitais do artigo usando dados detectados remotamente. **Revista internacional de sensoriamento remoto**, v. 10, p.989-1003, 1989.

VASCONCELOS, C. H., NOVO, E. M. L. M. Mapeamento do uso e cobertura da terra a partir da segmentação e classificação de imagens fração solo, sombra e vegetação derivadas do modelo linear de mistura aplicado a dados do sensor TM/Landsat5, na região do reservatório de Tucuruí PA. **Acta Amazônica**, v. 34, n. 3, p. 487-493, 2004.

**Submetido em:** 24 de setembro de 2019

**Aceito em:** 23 de março de 2020



# Uso de modelagem da quantidade de carbono mineralizado de resíduos de dejetos de suínos e palha de trigo

Gustavo Sérgio de Paula<sup>1</sup>

Edilson Marcelino Silva<sup>2</sup>

Ariana Campos Frúhauf<sup>3</sup>

Édipo Menezes da Silva<sup>4</sup>

Joel Augusto Muniz<sup>5</sup>

Tales Jesus Fernandes<sup>6</sup>

## Resumo

Um método capaz de reduzir os efeitos ambientais provocados por dejetos de suínos e de enriquecer o solo com nutrientes baseia-se na utilização desses resíduos com a palha de resíduos culturais em solos para produções agrícolas. Por meio da utilização de curvas de mineralização de carbono, é possível determinar os melhores intervalos para a utilização da matéria orgânica oriunda dos dejetos de modo a adequar melhor o uso do solo e das culturas agrícolas. A dinâmica do carbono presente nos dejetos pode ajudar na escolha do melhor manejo. Objetivou-se com este estudo comparar o ajuste de três modelos não lineares que descrevem a mineralização de carbono no solo ao longo do tempo, além de avaliar o estoque de carbono da palha de trigo isolada e conjuntamente com dejetos de suínos. O experimento foi realizado usando o delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições e oito tratamentos. Foram utilizados os seguintes tratamentos: T1 – solo (S), T2 – solo + palha na superfície (PSUP), T3 – solo + palha incorporada (PINC), T4 – solo + dejetos em superfície (DSUP), T5 – solo + dejetos incorporados (DINC), T6 – solo + dejetos incorporados + palha em superfície (DINCPSUP), T7 – solo + dejetos incorporados + palha incorporada (DINCPINC), T8 – solo + palha em superfície + dejetos em superfície (PSUPDSUP). As amostras de solo coletadas foram incubadas por 95 dias e foram feitas 10 observações ao longo do tempo. A descrição da mineralização do carbono foi realizada por meio dos modelos não lineares Cabrera, Juma e Stanford e Smith, considerando estrutura de erros autorregressivos AR (1) quando necessário. A comparação dos ajustes dos modelos foi feita por meio do critério de informação Akaike (AIC). A descrição da mineralização do carbono da palha de trigo e dos dejetos de suínos realizada pelos modelos não lineares foi satisfatória. O modelo Cabrera foi o mais adequado para descrever todos os tratamentos. O modelo Stanford e Smith, mais utilizado na literatura para descrever a mineralização de resíduo orgânico no solo, não atingiu melhores resultados em relação aos outros modelos não lineares para os tratamentos em estudo. Em geral, os tratamentos com palha na superfície deixaram maior estoque de

1 Universidade Federal de Lavras (UFLA). Graduando em Agronomia. [gustavo.paula1@agronomia.ufla.br](mailto:gustavo.paula1@agronomia.ufla.br). Departamento de Agricultura, Campus Universitário da UFLA, Lavras, Minas Gerais, 37200-000.

2 UFLA. Doutor em Estatística e Experimentação Agropecuária. [edilsonmg3@hotmail.com](mailto:edilsonmg3@hotmail.com).

3 UFLA. Doutoranda em Estatística e Experimentação Agropecuária. [arianafruhauf@gmail.com](mailto:arianafruhauf@gmail.com).

4 UFLA. Doutorando em Estatística e Experimentação Agropecuária. [ediposvm01@gmail.com](mailto:ediposvm01@gmail.com).

5 UFLA. Professor Titular. [joamuniz@ufla.br](mailto:joamuniz@ufla.br).

6 UFLA. Professor Titular. [tales.jfernandes@ufla.br](mailto:tales.jfernandes@ufla.br).

carbono no solo; na adição de dejetos à palha de trigo, o estoque de carbono foi menor, sendo assim, torna-se interessante aos produtores avaliarem a melhor estratégia a ser usada no uso dos resíduos de acordo com seus objetivos de produção.

**Palavras-chave:** Resíduo orgânico. Modelo Stanford e Smith. Modelo Cabrera. Modelo Juma.

## Introdução

A produção de suínos é uma atividade importante da agropecuária que contribui de maneira expressiva na economia nacional, gerando emprego e renda para os produtores e fornecendo carne para o abastecimento interno do país e para a exportação. A participação da suinocultura no agronegócio é relevante tendo em vista que o Brasil é o 4º país maior produtor de suínos do mundo (EMBRAPA, 2018). No ano de 2019, a produção brasileira de suínos deverá ser superior a 4 milhões de toneladas, com exportação de aproximadamente 700 mil toneladas (CONAB, 2019). Devido à alta demanda por carne suína, surgiram novos criadores nas diversas regiões do Brasil, no entanto, nem todos utilizam o manejo adequado para o descarte do material gerado pelos animais e, por consequência, esses resíduos são muitas das vezes a causa da poluição de rios. Vários problemas podem ser causados devido à contaminação dos cursos d'água, a alta carga de nutrientes nos corpos hídricos pode provocar a eutrofização, principalmente pelo P e N presentes na composição química do material (CADONÁ, 2017). Entretanto, devido a essa série de problemas foram criados meios para o uso correto dos resíduos gerados pelos suínos, sendo uma alternativa aproveitar a qualidade nutritiva presente nos dejetos líquidos, principalmente o N, e utilizá-lo como fertilizante orgânico na agricultura. Uma prática que vem se tornando muito comum na região sul do Brasil é a utilização de resíduos orgânicos sobre a palha de culturas de inverno, como o trigo, no sistema de plantio direto para a produção de milho e feijão (LUZ, 2007).

O plantio direto é um sistema de produção que traz numerosos benefícios para a agricultura proporcionando diversas melhorias no plantio de culturas, sendo que a palha possui importantes funções nesse sistema, tais como proteção da superfície do solo contra ação direta dos raios solares, aumento do teor da matéria orgânica do solo e redução do impacto das gotas de chuva. Por esses motivos, torna-se importante a realização de estudos relacionados à decomposição da palha e dos dejetos líquidos para buscar melhorias no manejo do sistema, pois a velocidade com que a palha é decomposta é importante com relação ao solo ter ou não uma cobertura.

Existe uma quantidade muito grande e variada de microrganismos no solo, esses organismos são beneficiados com a entrada de material orgânico pelos dejetos e pela palha, dessa forma, pode ocorrer no solo tanto a mineralização quanto a imobilização de carbono, e isso pode variar dependendo da relação de diversos aspectos desse material, como pH, composição química, relação C:N, quantidade, qualidade e incorporação ou não do material adicionado. No entanto, a decomposição depende também de diversos outros fatores presentes ao redor do material a ser decomposto, por exemplo, os tipos de microrganismos presentes na área, o tipo de solo e a vegetação, ou seja, todo o ecossistema solo influencia direta ou indiretamente a decomposição do material (MOREIRA et al., 2013).

O material a ser decomposto possui em sua composição química compostos lábeis, esses por sua vez são mineralizados no início da decomposição, pois representam a fração mais solúvel do material utilizado. À medida que essa fração vai se decompondo, a mineralização tende a ficar mais lenta devido ao fato de os microrganismos terem mais dificuldades em mineralizar a fração resistente dos compostos que restaram (GIACOMINI et al., 2008; PULROLNIK, 2009). O comportamento da curva de mineralização pode ser descrito por funções matemáticas que constituem modelos de

regressão não lineares (FERNANDES et al., 2011; SILVA et al., 2019b; ZEVIANI et al., 2012; SOUZA et al., 2010; SILVA et al. 2020).

O modelo não linear Stanford e Smith é o mais usado para descrever a mineralização de resíduos orgânicos no solo (FERNANDES et al., 2011; BARRETO et al., 2010; MARTINES et al., 2006; ANDRADE et al., 2013; ANDRADE et al., 2015; NUNES et al., 2016; PAULA et al., 2013). Quando o processo de decomposição apresenta duas fases de mineralização, devido à composição química, o modelo Cabrera tem apresentado bom ajuste (SILVA et al., 2019b; 2019c)

Com isso, pela importância direta com relação ao manejo de solo mais favorável à produção de culturas agrícolas, torna-se relevante o entendimento da dinâmica que envolve o processo de decomposição dos resíduos orgânicos no solo e para isso é importante conhecer as curvas de mineralização do carbono ao longo do tempo.

Para se ter melhoria na capacidade produtiva do solo é preciso compreender a dinâmica do carbono durante a decomposição de resíduos culturais. Objetivou-se com este estudo comparar o ajuste de três modelos não lineares Stanford e Smith, Cabrera e Juma, para descrever a mineralização de carbono no solo com palha de trigo e dejetos de suínos ao longo do tempo. Além disso, também objetivou-se avaliar a mineralização do C da palha de trigo isolada e conjuntamente com dejetos de suínos.

## Material e métodos

Os dados utilizados para os ajustes dos modelos foram extraídos de Luz (2007) e correspondem aos resultados em médias de um experimento que avaliou a mineralização do carbono em diferentes tratamentos envolvendo doses de dejetos de suínos em solo e palha de trigo. O experimento foi realizado em Santa Maria/RS, no Laboratório de Microbiologia do Solo e do Ambiente do Departamento de Solos da Universidade de Santa Maria/RS.

O solo utilizado é classificado como Argissolo Vermelho distrófico arênico. Foi coletado na camada de 0-10 cm em 1º de julho de 2006, a área em que o solo foi coletado vinha sendo cultivada com milho desde o ano de 1998, por meio do sistema de plantio direto. Após a retirada dos resíduos culturais remanescentes na superfície do solo, o solo foi coletado e transportado ao laboratório para homogeneização e peneiramento a 4,0 mm, permanecendo armazenado úmido em sacos plásticos, em temperatura ambiente, até o momento da incubação. Foram determinados os teores de C e N por combustão seca e o excesso isótopo em  $^{13}\text{C}$  por espectrometria de massas. Os valores dos teores de C e N foram: 42,7% e 0,65% (C/N=65) respectivamente, e o excesso isótopo em  $^{13}\text{C}$  de 2,016%. Houve determinação do teor de nitrato (N-NO<sub>3</sub>) da fração solúvel em água de palha, por meio da colorimetria, representando 16,2% do teor de nitrogênio total. Os dejetos líquidos de suínos foram coletados em uma granja na cidade de Restinga Seca/RS. Os teores de C orgânico, N-total e N amoniacal e os valores de matéria seca e pH dos dejetos líquidos de suínos foram determinados segundo metodologia descrita em Tedesco et al. (1995).

O delineamento experimental foi o de blocos casualizados com quatro repetições, e os tratamentos avaliados foram os seguintes: T1 – solo (S), T2 – solo + palha na superfície (PSUP), T3 – solo + palha incorporada (PINC), T4 – Solo + dejetos em superfície (DSUP), T5 – Solo + dejetos incorporados (DINC), T6 – Solo + dejetos incorporados + palha em superfície (DINCPSUP), T7 – Solo + dejetos incorporados + palha incorporada (DINCPINC), T8 – Solo + palha em superfície + dejetos em superfície (PSUPDSUP). A quantidade de carbono mineralizado foi avaliada aos 2, 4, 6, 9, 15, 25, 40, 60, 80, 95 dias de incubação, totalizando 10 observações.

Além desses tratamentos, foram incubados três frascos contendo apenas a solução de NaOH (prova em branco), para captar o C-CO<sub>2</sub> presente na atmosfera interna dos frascos de todos os tratamentos. Foram montadas 32 unidades experimentais (8 tratamentos e 4 repetições), constituídas por recipientes de acrílico, com 5,0 cm de altura e 5,0 cm de diâmetro, com capacidade de 110,0 mL, nos quais adicionou-se o solo de cada tratamento. Em cada recipiente de acrílico foram colocados 131,0 g de solo com 15,0% de umidade, equivalendo a 117,8 g de solo seco a 105°C. A umidade foi mantida na capacidade de campo.

O C-CO<sub>2</sub> liberado em cada tratamento foi captado em 10,0 mL de uma solução de NaOH 1 mol L<sup>-1</sup> colocada num frasco de vidro com capacidade de 37,0 mL, suspenso na parte superior de cada frasco. O excesso de NaOH em cada intervalo de coleta foi titulado com uma solução de HCl 1 mol L<sup>-1</sup>, após precipitação do carbonato com uma solução de BaCl<sub>2</sub> 1 mol L<sup>-1</sup>.

Os modelos não lineares a serem avaliados são: Cabrera (1), Juma (2) e Stanford e Smith (3) com as seguintes equações:

$$y_i = C_1(1 - \exp(-k_1 t_i)) + k_0 t_i + u_i \quad (1)$$

$$y_i = C_0 t_i / (v + t_i) + u_i \quad (2)$$

$$y_i = C_0(1 - \exp(-k t_i)) + u_i \quad (3)$$

em que

$u_i = \phi_1 u_{i-1} + \dots + \phi_p u_{i-p} + \varepsilon_i$ , com  $i = 1, 2, \dots, n$  e  $n$  o número de tempos em que foram realizadas as medições;

$u_i$  é o resíduo do ajuste no  $i$ -ésimo tempo;

$\phi_1$  é o parâmetro autoregressivo de ordem 1;

$u_{i-1}$  é o resíduo do ajuste do tempo imediatamente anterior à  $i$ -ésima medida;

$\phi_p$  é o parâmetro autoregressivo de ordem  $p$ ;

$u_{i-p}$  é o resíduo do ajuste em  $p$  tempos anterior à  $i$ -ésima medida;

$\phi_i$  é o resíduo branco, com distribuição normal,  $N(0, \sigma^2)$ .

Nos modelos, quando os resíduos forem independentes, os parâmetros  $\phi_i$  serão nulos, e em consequência  $u_i = \phi_i$  (MAZZINI et al., 2003; GUEDES et al., 2004).

Nas equações (1), (2) e (3),  $y_i$  define o valor médio da quantidade de carbono mineralizado nos tempos  $t_i$  em dias;  $C_0$  indica o valor da quantidade de carbono potencialmente mineralizável;  $C_1$  representa a quantidade de carbono facilmente mineralizável;  $k$ ,  $k_1$ ,  $k_0$  são taxas de mineralização;  $v$  tempo de meia vida;  $t_i$  refere-se ao tempo da  $i$ -ésima mensuração, expresso em dias (PEREIRA et al., 2005). Além disso, o modelo Cabrera considera duas frações de carbono, uma que é facilmente mineralizável ( $C_1$ ) e outra resistente ( $k_0$ ). Os modelos Juma e Stanford e Smith consideram apenas uma fração de carbono que é potencialmente mineralizável ( $C_0$ ). O tempo de meia-vida ( $v$ ) do carbono potencialmente mineralizável para o modelo Stanford e Smith foi estimado pela equação:

$$v = \ln(2)/k. \quad (4)$$

A estimação dos parâmetros  $C_0$ ,  $C_1$ ,  $k$ ,  $k_1$ ,  $k_0$  e  $v$  dos modelos foi feita pelo método de mínimos quadrados, por meio do qual é obtido o Sistema de Equações Normais (SEN) não linear. No caso de modelos não lineares, o sistema não apresenta uma solução direta, sendo necessária a utilização de algoritmos iterativos de busca numérica para obter as estimativas dos parâmetros (DRAPER; SMITH, 2014). Vários processos iterativos são descritos na literatura, sendo que foi utilizado neste trabalho o algoritmo de Gauss-Newton. Este algoritmo considera a expansão em série de Taylor para aproximar o modelo de



regressão não linear com termos lineares e, então, aplicar o método dos mínimos quadrados ordinários para a estimação dos parâmetros (MUIANGA et al., 2016; MUNIZ et al., 2017; FERNANDES et al., 2017; RIBEIRO et al., 2018a; RIBEIRO et al., 2018b; SOUSA et al., 2014; SILVA et al., 2019a; OLIVEIRA et al., 2013; PEREIRA et al., 2005; PEREIRA et al., 2009). Os cálculos das estimativas para os dados amostrais, bem como os ajustes gráficos e toda a parte computacional envolvida na elaboração deste trabalho foram obtidas utilizando o software estatístico R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2016).

Sob a suposição de normalidade dos resíduos foram também obtidos os intervalos de confiança para as estimativas dos parâmetros. De acordo com Draper e Smith (2014), define-se o intervalo de 95% de confiança para o parâmetro  $\beta_i$  do modelo como:

$$IC(\beta_i) : b_i \pm t(v;0;025).S(b_i) \tag{5}$$

em que:  $b_i$  é a estimativa para o parâmetro ( $\beta_i$ );

$S(b_i)$  é o erro padrão da estimativa;

$t(v;0;025)$  é o quantil superior da distribuição t de Student, considerando  $\alpha = 5\%$  e o grau de liberdade em que  $v = n - d$ , em que  $d$  é o número de parâmetros do modelo.

Por meio do teste de Durbin Watson, foi possível verificar a presença de dependência residual entre as medidas, avaliando se o resíduo de uma observação pode estar associado com o resíduo das observações adjacentes (HOFFMANN E VIEIRA, 1998) O teste Breusch-Pagam foi utilizado para verificar a homogeneidade dos resíduos e o teste de Shapiro-Wilk para verificar a normalidade.

Os modelos foram comparados quanto à qualidade do ajuste e foi indicado o modelo mais adequado para descrever a curva de mineralização em função do tempo. Foram utilizados os seguintes critérios:

- i. Coeficiente de determinação ajustado,  $R^2_{aj}$  :

$$R^2_{aj} = 1 - \frac{(1-R^2)(n-1)}{(n-d)}; \tag{6}$$

em que

$R^2$  é o coeficiente de determinação;

$n$  é o número de observações;

$d$  é a quantidade de parâmetros do modelo.

Um modelo deve ser preferido em relação ao outro se apresentar um maior valor de  $R^2_{aj}$ .

- ii. Critério de informação de Akaike, AIC

$$AIC = 2\log L(\tilde{\theta}) + 2p \tag{7}$$

em que

$L(\tilde{\theta})$  é o máximo da função de verossimilhança;

$p$  é o número de parâmetros no modelo;

$\log$  é o operador logarítmico natural.

Entre dois modelos, quanto menor for o valor de AIC melhor o modelo se ajusta aos dados.

- iii. Desvio padrão residual, DPR

$$DPR = \sqrt{QME} \tag{8}$$

em que

QME é o quadrado médio do erro.

O DPR é proporcional ao quadrado médio do erro, portanto menores valores indicam melhores ajustes.

A mineralização do C da palha de trigo foi calculada com base nas estimativas de  $C_0$  dos modelos Stanford e Smith e Juma. O cálculo da mineralização do carbono para os tratamentos com o uso isolado de palha foi realizado com base na equação:

$$MC = \left( \frac{C_{0\text{ palha}} - C_{0\text{ solo}}}{C_{\text{adicionado}}} \right) 100 \quad (9)$$

E para os tratamentos com o uso da palha conjuntamente com os dejetos, com base na equação:

$$MC = \left( \frac{C_{0\text{ palha+dejetos}} - C_{0\text{ dejetos}}}{C_{\text{adicionado}}} \right) 100 \quad (10)$$

Em que

MC é a mineralização do carbono da palha (% do carbono adicionado);

$C_{0\text{ palha}}$  é a estimativa do carbono potencialmente mineralizável da palha do modelo Stanford e Smith ou Juma;

$C_{0\text{ solo}}$  é a estimativa do carbono potencialmente mineralizável do solo do modelo Stanford e Smith ou Juma;

$C_{0\text{ palha+dejetos}}$  é a estimativa do carbono potencialmente mineralizável dos tratamentos com palha + dejetos do modelo Stanford e Smith ou Juma.

$C_{0\text{ dejetos}}$  é a estimativa do carbono potencialmente mineralizável dos dejetos do modelo Stanford e Smith ou Juma;

$C_{\text{adicionado}}$  é o carbono adicionado ( $\text{Mg kg}^{-1}$ ) com a palha que foi de  $2135 \text{ Mg kg}^{-1}$  de solo seco

## Resultados e discussão

Foram utilizados os testes de Shapiro-Wilk, Breusch-Pagan e Durbin-Watson para a obtenção da análise dos erros experimentais (Tabela 1). De acordo com os resultados do teste de Shapiro-Wilk, houve normalidade residual para todos os modelos e todos os tratamentos. Foi verificado que houve homogeneidade residual em todos os modelos e tratamentos por meio do teste de Breusch-Pagan ( $p > 0,05$ ). No teste de Durbin-Watson, houve correlação em todos os modelos e tratamentos com exceção dos tratamentos PINC, DSUP e DINC no modelo Cabrera e no tratamento S em todos os modelos. Nos tratamentos em que houve correlação, foram utilizados ajustes com erros autoregressivos de primeira ordem AR (1) para elucidar a dependência dos resíduos desses tratamentos. Pelo fato de essas medidas serem realizadas na mesma parcela ao longo do tempo, era esperado essa correlação nos erros. Silveira et al. (2018) também relataram correlação nos erros no ajuste de modelo não linear da produção acumulada de biogás de dejetos de suínos. Paula et al. (2020) observaram correlação no ajuste de modelos não lineares em dados de mineralização de carbono de dejetos de suínos no solo.

**Tabela 1** – P-valores dos testes de Shapiro-Wilk (SW), Durbin-Watson (DW) e Breusch-Pagan (BP) aplicados aos erros dos modelos para o carbono mineralizado, em  $\text{mg CO}_2 \text{ kg}^{-1}$ , dos tratamentos analisados.

Tratamento	Modelo	SW p-valor	BP p-valor	DW p-valor
S	Stanford e Smith	0,2369	0,0722	0,1900
S	Cabrera	0,706	0,1035	0,7460
S	Juma	0,2684	0,0717	0,1980
PSUP	Stanford e Smith	0,4431	0,2497	<b>0,0380</b>
PSUP	Cabrera	0,5229	0,4271	<b>0,0020</b>

(continuação...)

**Tabela 1** – Continuação

Tratamento	Modelo	SW p-valor	BP p-valor	DW p-valor
PSUP	Juma	0,2953	0,2483	<b>0,0240</b>
PINC	Stanford e Smith	0,2015	0,5981	<b>0,0020</b>
PINC	Cabrera	0,6539	0,3160	0,0820
PINC	Juma	0,1124	0,7140	<b>0,0020</b>
DSUP	Stanford e Smith	0,1377	0,4170	<b>0,0000</b>
DSUP	Cabrera	0,1595	0,9598	0,1140
DSUP	Juma	0,1321	0,4239	<b>0,0000</b>
DINC	Stanford e Smith	0,2532	0,1365	<b>0,0040</b>
DINC	Cabrera	0,5405	0,4089	0,3720
DINC	Juma	0,0337	0,0689	<b>0,0060</b>
DINCPSUP	Stanford e Smith	0,6424	0,4077	<b>0,0140</b>
DINCPSUP	Cabrera	0,8138	0,5319	<b>0,0000</b>
DINCPSUP	Juma	0,2244	0,6440	<b>0,0060</b>
DINCPINC	Stanford e Smith	0,4786	0,2684	<b>0,0020</b>
DINCPINC	Cabrera	0,2239	0,5670	<b>0,0460</b>
DINCPINC	Juma	0,2398	0,6673	<b>0,0100</b>
PSUPDSUP	Stanford e Smith	0,8461	0,3763	<b>0,0020</b>
PSUPDSUP	Cabrera	0,8076	0,6870	<b>0,0320</b>
PSUPDSUP	Juma	0,4351	0,3500	<b>0,0200</b>

**Fonte:** Elaboração dos autores (2020).

As Tabelas 2, 3 e 4 apresentam as estimativas dos parâmetros dos modelos com seus respectivos intervalos com 95% de confiança.

**Tabela 2** – Estimativas para os parâmetros do modelo Stanford e Smith e seus respectivos intervalos de confiança assintóticos de 95% (LI – limite inferior e LS – limite superior), no ajuste do C mineralizado, em mg de CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup>, dos tratamentos analisados.

Modelo Stanford e Smith							
S				PSUP			
	LI	Estimativa	LS		LI	Estimativa	LS
C <sub>0</sub>	452,9373	619,7000	1192,4610	C <sub>0</sub>	1232,7100	1455,4100	1678,1100
k	0,0035	0,0079	0,0126	k	0,0152	0,0235	0,0318
v	55,0116	87,7401	198,0420	v	21,7970	29,4956	45,6017
				φ		0,5430	
PINC				DSUP			
	LI	Estimativa	LS		LI	Estimativa	LS
C <sub>0</sub>	1572,7470	1763,0000	2028,8900	C <sub>0</sub>	233,4000	423,1000	612,9000
k	0,02432	0,0345	0,04727	k	0,0208	0,0269	0,0746
v	14,6635	20,0912	28,5011	v	9,2915	25,7675	33,3243
				φ		0,8073	

(continuação...)

**Tabela 2** – Continuação

DINC				DINCPSUP			
	LI	Estimativa	LS		LI	Estimativa	LS
C <sub>0</sub>	281,4854	323,6000	387,8470	C <sub>0</sub>	1422,5470	1631,7418	1840,9360
k	0,0228	0,0360	0,0536	k	0,0180	0,0266	0,0351
v	12,9318	19,2540	30,4011	v	19,7477	26,0581	38,5081
				φ		0,6268	

DINCPINC				PSUPDSUP			
	LI	Estimativa	LS		LI	Estimativa	LS
C <sub>0</sub>	1406,6100	1608,8496	18110,8400	C <sub>0</sub>	1556,9400	1732,8700	1908,8100
k	0,0322	0,0519	0,0714	k	0,0293	0,0416	0,0539
v	9,7079	13,3554	21,5263	v	12,8598	16,6621	23,6569
φ		0,6577		φ		0,6453	

Fonte: Elaboração dos autores (2020).

**Tabela 3** – Estimativas para os parâmetros do modelo Cabrera e seus respectivos intervalos de confiança assintóticos de 95% (LI – limite inferior e LS – limite superior), no ajuste do C mineralizado, em mg de CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup>, dos tratamentos analisados.

Modelo Cabrera							
S				PSUP			
	LI	Estimativa	LS		LI	Estimativa	LS
C <sub>1</sub>	18,1347	33,5663	48,9980	C <sub>1</sub>	223,9000	547,4000	870,9000
k <sub>1</sub>	0,0074	0,14886	0,2899	k <sub>1</sub>	0,0017	0,0728	0,1439
k <sub>0</sub>	2,9612	3,1938	3,4266	k <sub>0</sub>	4,3787	8,3028	12,2269
v	2,3909	4,6551	93,6685	v	4,8168	9,5212	407,7336
				φ		0,4940	

PINC				DSUP			
	LI	Estimativa	LS		LI	Estimativa	LS
C <sub>1</sub>	631,6181	761,3340	938,36b87	C <sub>1</sub>	117,3150	142,1310	173,5589
k <sub>1</sub>	0,0739	0,1052	0,1506	k <sub>1</sub>	0,1719	0,3051	0,6565
k <sub>0</sub>	8,8246	11,1677	13,0359	k <sub>0</sub>	2,4332	2,9236	3,3481
v	4,6025	6,5885	9,3795	v	1,0558	2,2718	4,0322

DINC				DINCPSUP			
	LI	Estimativa	LS		LI	Estimativa	LS
C <sub>1</sub>	116,2500	132,1170	150,8641	C <sub>1</sub>	498,8000	708,0000	917,3000
k <sub>1</sub>	0,1002	0,1288	0,1671	k <sub>1</sub>	0,0411	0,0752	0,0140
k <sub>0</sub>	1,9303	2,1962	2,4334	k <sub>0</sub>	6,1881	8,8165	11,4449
v	4,1480	5,3815	6,9176	v			
				φ		0,22829	

DINCPINC				PSUPDSUP			
	LI	Estimativa	LS		LI	Estimativa	LS
C <sub>1</sub>	847,6240	955,2640	1062,9000	C <sub>1</sub>	865,2448	1024,4400	1183,6400
k <sub>1</sub>	0,1000	0,1290	0,1572	k <sub>1</sub>	0,0676	0,0913	0,1148
k <sub>0</sub>	6,4020	7,9541	9,5060	k <sub>0</sub>	5,8002	7,9247	10,0491
v	4,4093	5,3732	6,9314	v	6,0378	7,5919	10,2536
φ		0,1615		φ		0,2062	

Fonte: Elaboração dos autores (2020).

**Tabela 4** – Estimativas para os parâmetros do modelo Juma e seus respectivos intervalos de confiança assintóticos de 95% (LI – limite inferior e LS – limite superior), no ajuste do C mineralizado, em mg de CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup>, dos tratamentos analisados.

Modelo Juma							
S				PSUP			
	LI	Estimativa	LS		LI	Estimativa	LS
C <sub>0</sub>	718,8202	1041,8700	2049,2070	C <sub>0</sub>	1637,8318	1973,8859	2309,9400
v	121,2930	206,2100	476,3200	v	30,2050	48,9256	67,6456
				φ		0,5006	
PINC				DSUP			
	LI	Estimativa	LS		LI	Estimativa	LS
C <sub>0</sub>	2111,3563	2485,1280	2858,9008	C <sub>0</sub>	247,3000	479,7000	712,1000
v	23,4403	38,9656	54,4908	v	-10,2374	22,3519	54,9411
φ		0,7673		φ		0,6609	
DINC				DINCPSUP			
	LI	Estimativa	LS		LI	Estimativa	LS
C <sub>0</sub>	365,9460	461,5983	557,2490	C <sub>0</sub>	1867,6131	2140,1080	2412,6040
v	17,1430	37,7030	58,2630	v	27,4885	39,9532	52,4170
φ		0,7152		φ		0,5417	
DINCPINC				PSUPDSUP			
	LI	Estimativa	LS		LI	Estimativa	LS
C <sub>0</sub>	1724,0700	1900,0640	2076,0500	C <sub>0</sub>	1952,0700	2119,2298	2286,3800
v	10,9190	15,7996	20,6790	v	16,6654	21,8408	27,0160
φ		0,5455		φ		0,5005	

**Fonte:** Elaboração dos autores (2020).

Considerando os intervalos de confiança para a estimativa do parâmetro (C<sub>0</sub>) no modelo Stanford e Smith, observa-se que houve sobreposição nos intervalos de confiança dos tratamentos PSUP, DINCPSUP, DINCPINC e PSUPDSUP, com isso é possível dizer que todos os tratamentos tiveram a mesma quantidade de carbono potencialmente mineralizável e superior à quantidade dos tratamentos S, PINC, DSUP e DINC. Esses resultados ocorrem devido ao aumento no teor de carbono proveniente da palha ou dos dejetos disponíveis aos microrganismos, estimulando a mineralização do carbono adicionado, como também a degradação da matéria orgânica do solo (FERNANDES et al. 2011).

No modelo Cabrera, considerando os intervalos de confiança para a estimativa do parâmetro (C<sub>1</sub>), a quantidade de carbono facilmente mineralizável seguiu a ordem: S<DSUP=DINC<PSUP=PINC=DINCPSUP=DINCPINC=PSUPDSUP. Considerando o parâmetro (k<sub>0</sub>), houve sobreposição entre os intervalos de confiança dos tratamentos DSUP e DINC, dessa forma, eles tiveram a mesma taxa de mineralização do carbono resistente. Os tratamentos PINC, PSUP, DINCPSUP, DINCPINC e PSUPDSUP tiveram a maior taxa de mineralização do carbono resistente em relação aos outros tratamentos.

No modelo Juma, considerando o parâmetro (C<sub>0</sub>), os tratamentos PSUP e PINC tiveram a mesma quantidade de carbono potencialmente mineralizável, pois houve sobreposição nos intervalos de confiança. O mesmo ocorreu nos tratamentos DINCPSUP e DINCPINC e também nos tratamentos DSUP e DINC, que obtiveram a mesma quantidade de carbono potencialmente mineralizável. Segundo Silva et al. (2019b) e Giacomini et al. (2008), o resultado apresentado demonstra que existe uma

fração de C dos resíduos que é de difícil decomposição, não importando se estão incorporados ao solo ou na superfície, estando ou não em maior contato com os microrganismos.

Em relação aos intervalos de confiança para a estimativa do parâmetro ( $v$ ), tempo de meia vida, no modelo Stanford e Smith não houve diferença entre o tempo gasto para mineralizar metade do carbono potencialmente mineralizável entre os tratamentos PSUPDSUP e DINCPINC. O tratamento S em relação aos tratamentos PSUP, DINCPSUP, DINCPINC e PSUPDSUP demorou mais tempo para mineralizar metade do carbono potencialmente mineralizável (CPM), isso se deve ao fato de não haver nitrogênio fornecido por dejetos e por haver palha ao solo; conseqüentemente, os microrganismos não tiveram seu crescimento e desenvolvimento estimulados (SAVIOZZI et al. 1997).

No modelo Cabrera, considerando os intervalos de confiança para a estimativa do tempo de meia vida, houve diferença entre os tratamentos DINC e DSUP, em que os dejetos na superfície gastaram um tempo menor em relação aos dejetos incorporados para que metade do ( $C_1$ ) fosse mineralizado.

No modelo Juma, considerando os intervalos de confiança para a estimativa do parâmetro ( $v$ ), o tratamento S gastou mais tempo em relação aos demais para mineralizar metade do (CPM), devido à falta de nitrogênio proveniente dos dejetos e da palha (SAVIOZZI et al. 1997).

Todos os modelos tiveram ótimos ajustes em todos os tratamentos porque os valores do coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ) foram acima de 95% como pode ser observado pela Tabela 5, além disso, para cada tratamento foram obtidos valores próximos para o desvio padrão residual dos modelos (Tabela 5). Para o ajuste dos modelos não lineares Stanford e Smith e Cabrera, na mineralização de carbono de dejetos de suínos e palha de aveia no solo, Silva et al. (2019b) obtiveram valores de  $R^2_{aj}$  maiores que 0,97 indicando que os modelos descrevem adequadamente os dados.

Para todos os tratamentos, o modelo mais indicado foi o Cabrera, pois ele apresentou os menores valores de AIC e os maiores valores de  $R^2_{aj}$  em relação aos modelos Stanford e Smith e Juma, dessa forma, esses tratamentos apresentam frações de carbono mineralizáveis com comportamento exponencial e frações mais resistentes, com mineralização constante. O ajuste do modelo Cabrera aos tratamentos pode ser visto nas Figuras 1 e 2.

Na literatura, o modelo Stanford e Smith é muito usado para descrever a mineralização do carbono no solo (FERNANDES et al., 2011; BARRETO et al., 2010; MARTINES et al., 2006), no entanto, neste trabalho não obteve melhor ajuste para nenhum tratamento em estudo em relação aos modelos Juma e Cabrera.

**Tabela 5** – Estimativas dos critérios de seleção: coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ), critério de Informação de Akaike (AIC) e desvio padrão residual (DPR) para os modelos ajustados na descrição do carbono mineralizado, em  $\text{mg CO}_2 \text{ kg}^{-1}$ , dos tratamentos analisados.

Tratamento	Modelo	Critério de seleção		
		$R^2_{aj}$	AIC	DPR
S	Stanford e Smith	0,9935	78,0287	9,91
	Cabrera	0,9987	70,2000	6,48
	Juma	0,9938	77,3315	9,57
	Stanford e Smith	0,9855	112,3871	58,51
PSUP	Cabrera	0,9985	103,4000	117,77
	Juma	0,9902	108,3809	46,61
	Stanford e Smith	0,9976	114,3000	93,10

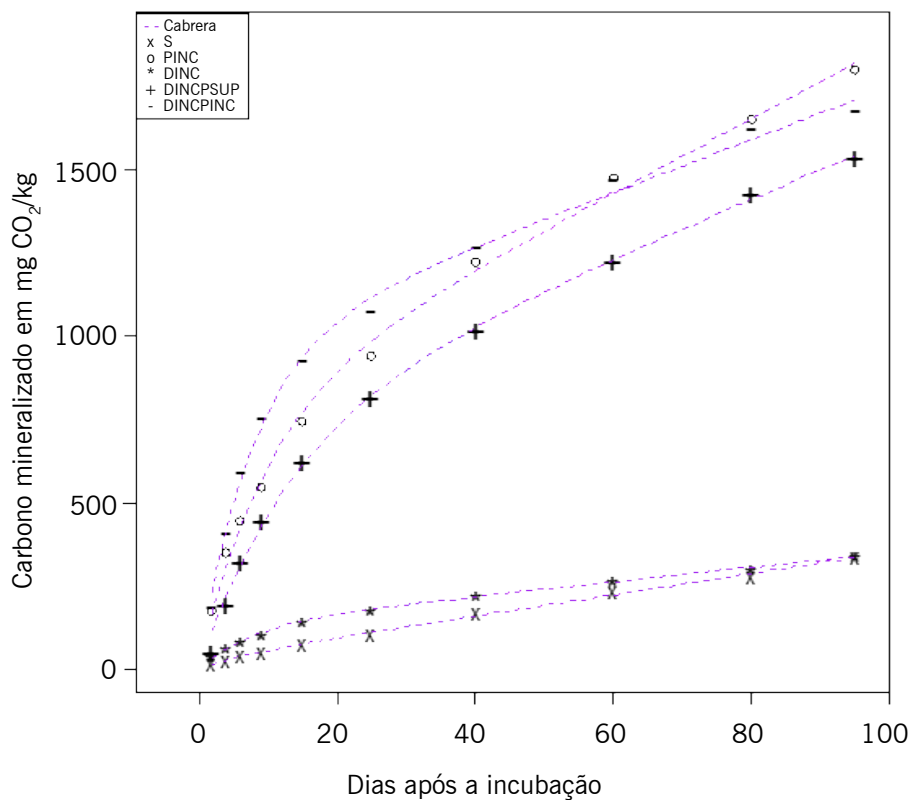
(continuação...)

**Tabela 5** – Continuação

Tratamento	Modelo	Critério de seleção		
PINC	Cabrera	0,9963	104,1344	35,38
	Juma	0,9872	111,2599	70,49
	Stanford e Smith	0,9875	101,9000	40,75
DSUP	Cabrera	0,9885	83,4880	12,60
	Juma	0,9909	98,9000	32,12
	Stanford e Smith	0,9980	79,2000	21,60
DINC	Cabrera	0,9976	65,7400	5,18
	Juma	0,9805	85,2416	17,76
	Stanford e Smith	0,9858	113,4718	66,07
DINCPSUP	Cabrera	0,9991	101,9000	119,90
	Juma	0,9927	107,7196	46,29
	Stanford e Smith	0,9665	122,9191	109,2511
DINCPINC	Cabrera	0,9946	106,7994	37,01
	Juma	0,9865	113,3056	61,36
	Stanford e Smith	0,9813	118,1900	85,18
PSUPDSUP	Cabrera	0,9951	107,9176	39,44
	Juma	0,9933	108,9506	47,94

Fonte: Elaboração dos autores (2020).

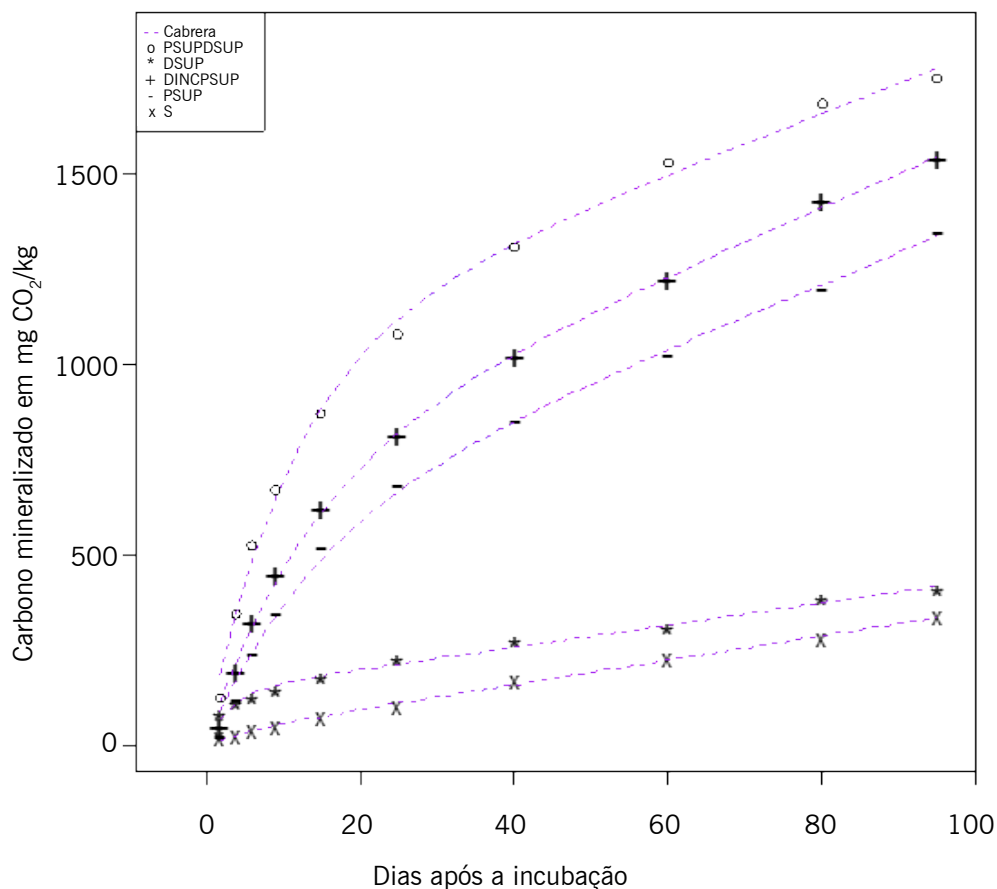
**Figura 1** – Modelo Cabrera ajustado à mineralização de carbono, em mg de CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup>, dos resíduos incorporados no solo em função do tempo de incubação.



Fonte: Elaboração dos autores (2020).



**Figura 2** – Modelo Cabrera ajustado à mineralização de carbono, em mg de CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> dos resíduos na superfície do solo em função do tempo de incubação.



**Fonte:** Elaboração dos autores (2020).

Na Tabela 6 são apresentadas as porcentagens de mineralização de carbono (MC) da palha de trigo isoladamente e conjuntamente com os dejetos. Com base no modelo Stanford e Smith, a porcentagem de carbono da palha na superfície foi de aproximadamente 39,0% e a da palha incorporada ao solo de aproximadamente 53,0%. Adicionando-se dejetos, a palha mineralizou aproximadamente 60,0%, indicando que os dejetos favoreceram a mineralização do carbono da palha independentemente se a palha está incorporada ou na superfície do solo. Esse aumento na mineralização da palha incorporada em relação à palha na superfície pode estar relacionado com o fato de que os microrganismos têm maior facilidade de decompor os materiais incorporados ao solo (FERNANDES et al., 2011). Para os casos em que o agricultor optar por realizar o manejo da palha e manter esse estoque de carbono como cobertura do solo em sua área, seria interessante que a palha não fosse decomposta com facilidade e, de acordo com os resultados apresentados, nesse caso, torna-se mais viável o simples uso de palha na superfície do solo sem uso de dejetos, pois os dejetos aumentaram a mineralização do carbono da palha, o que poderia atrapalhar o manejo e deixar o solo mais exposto por consumir o estoque de carbono. Por outro lado, a adição de dejetos à palha de trigo pode beneficiar a cultura presente na área, pois os dejetos de suínos possuem diversos nutrientes em sua composição, além de uma grande quantidade de nitrogênio, o que é bastante requerido pela maioria das culturas agrícolas.

**Tabela 6** – Mineralização do carbono (MC) da palha de trigo (% do carbono adicionado).

Tratamentos	Stanford e Smith	Juma
PSUP	39,14%	43,65%
PINC	53,55%	67,60%
DINCPSUP	61,27%	78,61%
DINCPINC	60,19%	67,37%
PSUPDSUP	61,34%	76,79%

**Fonte:** Elaboração dos autores (2020).

Com base no modelo Juma, a palha na superfície mineralizou aproximadamente 43,0% do carbono adicionado e a palha incorporada aproximadamente 67,0%, algo esperado, pois a incorporação pode ter estimulado os microrganismos a decompor a palha. Adicionando dejetos na palha, a mineralização do C da palha foi em média de 77,0%, independentemente se o dejetos foi incorporado ou na superfície, isso mostra mais uma vez que a adição de dejetos à palha aumenta a mineralização do carbono e a liberação de nutrientes e conseqüentemente diminui o estoque de carbono que poderia ser usado como proteção do solo às intempéries climáticas e plantas invasoras. Outro ponto a ser observado é que a mineralização da palha nesses tratamentos, com média de 77,0%, obteve altas taxas de mineralização e do ponto de vista ambiental isso não é bom, pois causa um impacto ambiental pela quantidade de CO<sub>2</sub> liberada na atmosfera. Por outro lado, com o dejetos e a palha incorporada ao solo, a porcentagem de mineralização foi de aproximadamente 67,0%.

De modo geral, os tratamentos em que a palha foi incorporada ao solo apresentou maior porcentagem de carbono mineralizado que a palha na superfície, deixando assim uma menor quantidade de estoque de carbono no solo. Ao serem adicionados dejetos de suínos à palha de trigo, aumentou ainda mais a porcentagem de carbono mineralizado da palha, assim, o estoque de carbono da palha diminuiu consideravelmente por causa da mineralização, isso é um ponto interessante para o agricultor pensar em relação ao manejo desses resíduos, pois a escolha da adição ou não de dejetos à palha vai depender muito do sistema de produção e manejo que ele deseja implantar, pois com a adição de dejetos, o solo fica mais rico em nutrientes ao longo do tempo, porém, em contrapartida, a decomposição da palha aumentada pela adição de dejetos pode não ser benéfica ao produtor, pois pode ocorrer aumento da liberação de CO<sub>2</sub> no meio ambiente, causando impacto ambiental. Além disso, a palha sobre o solo possui funções que na maioria das vezes são benéficas para a conservação do solo e produção da cultura, como o controle da temperatura do solo, retenção de água, incremento da matéria orgânica e controle de plantas daninhas.

## Conclusões

A descrição da mineralização do carbono da palha de trigo e dos dejetos de suíno realizada pelos modelos não lineares foi satisfatória.

O modelo Cabrera foi o mais adequado para descrever a mineralização de carbono de todos os tratamentos, dessa forma, esses tratamentos apresentam frações de carbono mineralizáveis com comportamento exponencial e frações mais resistentes, com mineralização constante.

O modelo Stanford e Smith, apesar de ser muito utilizado na literatura, não atingiu melhores resultados em relação aos outros modelos não lineares avaliados nesse estudo.

Os tratamentos em que a palha foi incorporada ao solo apresentou maior porcentagem de carbono mineralizado que a palha na superfície, deixando uma menor quantidade de estoque de carbono no solo. Ao serem adicionados dejetos de suínos à palha de trigo, aumentou ainda mais a porcentagem de carbono mineralizado da palha, assim, o estoque de carbono da palha diminuiu consideravelmente por causa da mineralização.

## Modeling the amount of mineralized carbon from swine manure and wheat straw

### Abstract

A method capable of reducing the environmental damage caused by swine manure and the soil enrichment with nutrients is based on the use of these residues together with the crops straw in soils for agricultural production. Through the use of carbon mineralization curves, it is possible to determine the best intervals for the use of organic matter from manure to better adapt the use of soil and crops. Dynamics of carbon present in manure can help in the selection of the best management. The objective of this study was to compare the fit of three nonlinear models that describe the carbon mineralization in soil over time, in addition to assessing the carbon stock of wheat straw alone and combined with swine manure. The experiment was carried out in a randomized block design, with four replications and eight treatments. The following treatments were tested: T1 – soil (S), T2 – soil + straw on the surface (SSUR), T3 – soil + incorporated straw (INCS), T4 – soil + manure on the surface (MSUR), T5 – soil + incorporated manure (INCM), T6 – soil + incorporated manure + straw on the surface (INCMSSUR), T7 - soil + incorporated manure + incorporated straw (INCMINCS), T8 – soil + straw on the surface + manure on the surface (SSURMSUR). Soil samples were incubated for 95 days, and ten observations were made throughout time. Carbon mineralization was described using nonlinear models Cabrera, Stanford and Smith and Juma, considering the autoregressive error structure AR (1), when necessary. The comparison of fit of models was made using the Akaike Information Criterion (AIC). The description of carbon mineralization of wheat straw and swine manure carried out by nonlinear models was satisfactory. The Cabrera model was the most appropriate to describe all treatments. The Stanford and Smith model, most used in the literature to describe the mineralization of organic waste in soil, did not achieve better results in relation to the other nonlinear models for the treatments under study. In general, the treatments with straw on the surface resulted in a larger carbon stock in the soil, and with the addition of manure to the wheat straw, the carbon stock was lower, so it is interesting for producers to evaluate, according to their production targets, which is the best strategy to be adopted for the use of waste.

**Keywords:** Organic waste. Stanford and Smith model. Cabrera model. Juma model.

### Referências

ANDRADE, C. A.; SILVA, L. F. M.; PIRES, A. M. M.; COSCIONE, A. R. Mineralização do carbono e do nitrogênio no solo após sucessivas aplicações de lodo de esgoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, p. 536-544, 2013. Doi:10.1590/S0100-204X2013000500010. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-204X2013000500010&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2013000500010&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 14 jan. 2019.

ANDRADE, C. A.; BIBAR, M. P. S.; COSCIONE, A. R.; PIRES, A. M. M.; SOARES, A. G. Mineralização e efeitos de biocarvão de cama de frango sobre a capacidade de troca catiônica do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, p. 407-416, 2015. doi:10.1590/S0100-204X2015000500008. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-204X2015000500407&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2015000500407&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 14 jan. 2019.

BARRETO, P. A. B.; RODRIGUES, E. F. G.; RODRIGUES, A. C. G.; BARROS, N. F.; ALVES, B. J. R.; FONSECA, S. Mineralização de nitrogênio e carbono em solos sob plantações de eucalipto, em uma sequência de idades. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 3, p. 735-745, jun. 2010. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-06832010000300015&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832010000300015&lng=en&nrm=iso). Acesso em: 14 jan. 2019.

CANODÁ, E. A. **Contaminação da água pelo uso agrícola de dejetos de suínos na bacia hidrográfica rio coruja/bonito, braço do Norte/SC**. 2017. 127 p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB. **Indicadores da agropecuária**, v. 38, n. 7, julho/2019.

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

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. Estatística/Desempenho da produção. Central de inteligência de aves e suínos, 2018.

FERNANDES, A. H. B. M.; 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: Embrapa Pantanal, 2011.

FERNANDES, T. J.; PEREIRA, A. A.; MUNIZ, J. A. Double sigmoidal models describing the growth of coffee berries. **Ciência Rural**, v. 47, p. 1-7, 2017. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-84782017000800401&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782017000800401&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 29 jan. 2019.

GIACOMINI, S. J.; AITA, C.; MIOLA, E. C.C.; RECOUS, S. Mineralização do carbono da palha de aveia e dejetos de suínos aplicados na superfície ou incorporados ao solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2661-2668, 2008. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-06832015000501428&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832015000501428&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 29 jan. 2019.

GUEDES, M. H. P.; MUNIZ, J. A.; PEREZ, J. R. O.; SILVA, F. F.; AQUINO, L. H.; SANTOS, C. L. Estudo das curvas de crescimento de cordeiros das raças Santa Inês e Bergamácia considerando Heterogeneidade de variâncias. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 2, p. 381-388, mar./abr. 2004. Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1413-70542004000200019&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-70542004000200019&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 15 jan. 2019.

HOFFMANN, R.; VIEIRA, S. **Análise de regressão: uma introdução a econometria**. 3. ed. São Paulo: Hucitec, 1998. 379 p.

LUZ, L. P. **Dinâmica do carbono durante a decomposição de palha de trigo marcada com <sup>13</sup>C e dejetos líquidos de suínos**. 2007. 61 p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

MARTINES, A. M.; ANDRADE, C. A.; CARDOSO, E. J. B. N. Mineralização do carbono orgânico em solos tratados com lodo de curtume. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 7, p. 1149-1155, jul. 2006. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-204X2006000700011&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2006000700011&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 14 jan. 2019.

MAZZINI, A. R. A.; MUNIZ, J. A.; SILVA, F. F.; AQUINO, L. H.; SILVA, F. F. Análise da curva de crescimento de machos hereford. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 27, n. 5, p. 1105-1112, 2003. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1413-70542003000500019&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-70542003000500019&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 15 jan. 2019.

MOREIRA, F. M. S.; CARES, J. E.; ZANETTI, R.; STÜMER, S. L. **O ecossistema solo: componentes, relações ecológicas e efeitos na produção vegetal**. Lavras: UFLA, 2013.

MUIANGA, C. A.; MUNIZ, J. A.; NASCIMENTO, M. S.; FERNANDES, T. J.; SAVIAN, T. V. Descrição da curva de crescimento de frutos do cajueiro por modelos não lineares. **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](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-29452016000100022&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 15 jan. 2019.

MUNIZ, J. A.; NASCIMENTO, M. S.; FERNANDES, T. J. Nonlinear models for description of cacao fruit growth with assumption violation. **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](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1983-21252017000100250&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 15 jan. 2019.

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, p. 91-99, 2016. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s11676-015-0164-3>>. Acesso em 15 jan. 2019.

OLIVEIRA, W. J.; SILVA, C. A.; MUNIZ, J. A.; SAVIAN, T. V. Mineralização de nitrogênio em latossolos adubados com resíduos orgânicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 715-725, 2013. Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-06832013000300018&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832013000300018&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 19 jan. 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832013000300018>.

PAULA, G. S.; SILVA, E. M.; FURTADO, T. D. R.; FRÜHAUF, A. C.; MUNIZ, J. A. Comparação de modelos não lineares na descrição da mineralização do carbono no solo tratado com dejetos de suínos. **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre, v. 12, n. 1, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.18406/2316-1817v11n420191412>.

PAULA, J. R.; MATOS, A. T.; MATOS, M. P.; PEREIRA, M. S.; ANDRADE, C. A. Mineralização do carbono e nitrogênio de resíduos aplicados ao solo em campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 1729-1741, 2013. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-06832013000600029&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832013000600029&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em 12 nov. 2019.

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, ago. 2005. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-90162005000400014&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-90162005000400014&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 15 jan. 2019.

PEREIRA, J. M.; MUNIZ, J. A.; SÁFADI, T.; SILVA, C. A. Comparação entre modelos para predição do nitrogênio mineralizado: uma abordagem bayesiana. **Ciência e Agrotecnologia**. v. 33, Edição Especial, p. 1792-1797, 2009. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1413-70542009000700016&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-70542009000700016&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 15 jan. 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542009000700016>.

PULROLNIK, K. **Transformações do carbono no solo**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados; 2009.

R CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing Viena: 2019. Disponível em: <http://www.r-project.org>. Acesso em: 15 dez. 2019.

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, 2018a. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-29452018000400705](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, 2018b. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-84782018000100202&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782018000100202&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 15 jan. 2019.

SAVIOZZI, A.; LEVI-MINZI, R.; CARDELLI, R. RIFFALDI, R. The Influence of Heavy Metals on Carbon Dioxide Evolution from a Typic Xerochrept Soil. **Water Air and Soil Pollution**. v. 93, p. 409-417, 1997. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02404770>. Acesso em: 15 jan. 2019.

SILVA, E. M.; FRÜHAUF, A. C.; FERNANDES, F. A.; PAULA, G. S.; MUNIZ, J. A.; FERNANDES, T. J. Método de Newton e Gauss-Newton na estimação dos parâmetros de modelo de regressão não linear. **Sigmae**, v. 8, n. 2, p. 728-734, 2019a. Disponível em: <<https://publicacoes.unifal-mg.edu.br/revistas/index.php/sigmae/article/view/946/692>>. Acesso em: 15 jan. 2019.

SILVA, E. M.; FURTADO, T. D. R.; FRÜHAUF, A. C.; MUNIZ, J. A.; FERNANDES, T. J. Bayesian approach to the zinc extraction curve of soil with sewage sludge. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 42 p. 1-9, 2020. Disponível em: <<http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciTechnol/article/view/46893/751375149043>>. Acesso em: 15 jan. 2020.

SILVA, E. M.; RIBEIRO, T. D.; FERNANDES, J. G.; MUNIZ, J. A. Descrição da mineralização do carbono de dejetos de suíno e palha de aveia no solo por modelos não lineares. **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre, v. 11, p. 210-225, 2019b. Disponível em: <[https://agrogeoambiental.ifsuldeminas.edu.br/index.php/Agrogeoambiental/article/view/1299/pdf\\_1](https://agrogeoambiental.ifsuldeminas.edu.br/index.php/Agrogeoambiental/article/view/1299/pdf_1)>. Acesso em: 15 out. 2019.

SILVA, E. M.; SILVEIRA, S. C.; RIBEIRO, T. D.; MUNIZ, J. A. Descrição da decomposição do lodo de esgoto e palha de aveia por modelos não lineares. **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre, v. 11, p. 153-164, 2019c. Disponível em: <[https://agrogeoambiental.ifsuldeminas.edu.br/index.php/Agrogeoambiental/article/view/1287/pdf\\_1](https://agrogeoambiental.ifsuldeminas.edu.br/index.php/Agrogeoambiental/article/view/1287/pdf_1)>. Acesso em: 15 out. 2019.

SILVEIRA, S. C. MUNIZ, J. A. SOUSA, F. A. CAMPOS, A. T. Modelos não lineares ajustados à produção acumulada de biogás provenientes de camas sobrepostas de suínos. **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre, v. 10, n. 3, p. 91-103, jul./set. 2018. Disponível em: <<https://agrogeoambiental.ifsuldeminas.edu.br/index.php/Agrogeoambiental/article/view/1168>>. Acesso em: 14 jan. 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.18406/2316-1817v10n320181168>.

SOUSA, I. F.; NETO, J. E. K.; 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](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782014001102016)>. Acesso em: 15 jan. 2019.

SOUZA, E. M.; MUNIZ, J. A.; MARCHI, G.; GUILHERME, L. R. G. Non-linear modeling of zinc extracted from a sewage sludge – treated. **Acta Scientiarum Technology**, v. 32, p. 193–199, 2010. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/233800672\\_Non-linear\\_modeling\\_of\\_zinc\\_extracted\\_from\\_a\\_sewage\\_sludge-treated\\_soil](https://www.researchgate.net/publication/233800672_Non-linear_modeling_of_zinc_extracted_from_a_sewage_sludge-treated_soil)>. Acesso em: 15 jan. 2019.

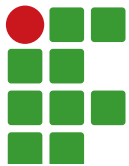
TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. Análise de solo, plantas e outros materiais. **Boletim Técnico de Solos**, 5, 2. ed. 174p., Porto Alegre, Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1995.

ZEVIANI, W. M.; SILVA, C. A.; CARNEIRO, W. J. O.; MUNIZ, J. A. Modelos não lineares para a liberação de potássio de esterco animal em latossolos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 10, p. 1789-1796, out, 2012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cr/v42n10/a28712cr3006.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2019.

**Submetido em:** 27 de agosto de 2019

**Aceito em:** 25 de março de 2020





# Qualidade de grãos de feijão crioulo Gurgutuba branco armazenados em silo bolsa e garrafa pet

Valter Barbosa Magalhães<sup>1</sup>

Adalberto Hipólito de Sousa<sup>2</sup>

## Resumo

O armazenamento hermético em silo do tipo bolsa de grãos tem se destacado como alternativa viável ao nível de propriedade rural. Este trabalho teve por objetivo avaliar o uso de silo do tipo bolsa como alternativa no armazenamento de grãos de feijão crioulo. O Experimento foi conduzido no Laboratório de sementes da UFAC, os grãos foram armazenados em silo do tipo bolsa durante 30, 60, 90 e 120 dias. Adicionalmente, foram armazenados em garrafas pet, prática usual. No tratamento controle utilizaram-se de garrafas pet fechadas com tecido organza. O modelo experimental foi DIC fatorial com parcelas subdivididas, com quatro repetições, sendo as parcelas condições de armazenamento e subparcelas períodos de armazenamento. Avaliou-se grau de infestação, teor de água, massa específica aparente, percentual de germinação e condutividade elétrica, em intervalos de 30 dias. Houve variação significativa ( $p < 0,05$ ) entre os tipos de armazenamento. Ocorreu a infestação por *Zabrotes subfasciatus* (Boheman) e *Acanthoscelides obtectus* (Say) (Coleoptera: Chrysomelidae, Bruchidae). A infestação por estes bruchídeos foram inferiores a 7% em grãos armazenados em silo tipo bolsa e garrafa pet. No tratamento controle, o grau de infestação aumentou significativamente ( $p < 0,05$ ), com índices acima de 90% ao fim de 120 dias. O teor de água, massa específica, germinação e condutividade elétrica, dos grãos armazenados em silo do tipo bolsa e garrafa pet preservou as características analisadas durante os 120 dias, com exceção do tratamento controle. O armazenamento em silo do tipo bolsa é uma alternativa eficaz no controle da infestação e na manutenção da qualidade do teor de água, massa específica, germinação e condutividade elétrica, até 120 dias.

**Palavras-chave:** *Phaseolus vulgaris* L. Atmosfera modificada. Hermético. Infestação.

## Introdução

Os genótipos crioulos de feijão são aqueles definidos em uso pelos agricultores, gerados a partir de cruzamentos naturais e que não passaram por processo de melhoramento genético (ELIAS et al., 2007),

A variedade de feijão Gurgutuba branco pertence à espécie *Phaseolus vulgaris* L., cultivada em áreas de terra firme. Possui hábito de crescimento trepador indeterminado, com porte prostrado e tendência a enrolar-se ao tutor (MATTAR et al., 2016). Essas variedades crioulas normalmente são armazenadas em pequenas e médias propriedades.

Com o aumento da produtividade de grãos no Brasil, a armazenagem desses produtos apresenta sistematicamente “déficit” na sua capacidade estática de armazenagem, contribuindo

1 Universidade Federal do Acre (UFAC). Mestrando em Agronomia/Produção Vegetal. [valterbarbosa68@gmail.com](mailto:valterbarbosa68@gmail.com), Rua 4, n. 318, Bairro Tucumã. 69191-805.

2 UFAC. Professor Titular, área de atuação Manejo Integrado de Pragas/ Agronomia. [adalbertohipolito@hotmail.com](mailto:adalbertohipolito@hotmail.com).

para significativas perdas na rentabilidade dos produtores rurais (WACHTER; PEREIRA, 2015). As utilizações de novas tecnologias e as prevenções de perdas auxiliam a manutenção dos estoques de alimentos (LIMA JUNIOR et al., 2012).

No Brasil, o feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é um dos principais alimentos consumidos, a produção nacional é uma das maiores do planeta. A demanda no mercado brasileiro é bastante relevante, exigindo uma produção anual de 3,0 milhões de toneladas. Num cenário contemporâneo, foi estimado que a produção brasileira de grãos de feijão-comum é de apenas um quarto do seu potencial (WANDER et al., 2014).

Quando se fala em perda na produção de grão, que são alimentos base da população mundial, deve ser levado em conta além de fatores de campo, fatores relacionados ao armazenamento. Este possui entre suas finalidades base manter por um período de tempo as características dos grãos ou sementes, viabilizando a qualidade do produto. Outro fator que leva o grão ao armazenamento é a cotação do preço do produto no mercado (LIMA JUNIOR et al., 2012). Boa parte da produção de grãos no Brasil é armazenada em silos metálicos ou de alvenarias (graneleiro) antes da sua comercialização. Neste período, pode acontecer de o produto perder qualidade devido à permanência estendida no armazém (SANTOS; CHAVAGLIA, 2017). A aplicação indiscriminada de defensivos agrícolas durante o armazenamento de grãos traz vários problemas ambientais, podendo causar danos graves em longo prazo, e esses efeitos em muitos casos são irreversíveis (BOHNER et al., 2013).

A demanda por produtos ecologicamente gerados é uma realidade. Esta demanda é aumentada a cada ano, porém a produção orgânica requer do produtor um considerável conhecimento das técnicas de cultivo e a utilização de variedades que possuam alta produtividade e armazenamento adequado (SOARES JUNIOR et al., 2015). Além de produzir, é de fundamental importância efetuar o armazenamento correto para conseguir minimizar as perdas de grãos, juntamente com prejuízos financeiros e logísticos (BARONI et al., 2017). A utilização de silo bolsa, técnica que consiste em armazenar grãos em bolsas plásticas seladas hermeticamente é uma alternativa aos métodos tradicionais de armazenagem de grãos em nível de fazenda (COSTA et al., 2010). Esse sistema é móvel, e as bolsas são horizontais, confeccionadas em polietileno de baixa densidade coextrusadas em três camadas, com espessura de 0,00025 metros e capacidade entre 60 e 180 mil quilos, possuindo diâmetros de 1,50, 1,80 e 2,70 metros, com 60 metros de comprimento (MARCHER BRASIL, 2020). A mobilidade, o baixo custo de investimento, a otimização do espaço e o fácil manuseio do material qualificam-no como opção ao armazenamento de grãos aos pequenos e médios produtores.

Sendo assim, objetivou-se com este trabalho avaliar a qualidade dos grãos de feijão crioulo Gurgutuba branco, armazenados em silos do tipo bolsa em comparação a outros tipos de armazenamento.

## Material e métodos

O experimento foi conduzido no Laboratório de Manejo Integrado de Pragas do Curso de Pós-Graduação em Produção Vegetal da Universidade Federal do Acre – *Campus* Rio Branco, em Rio Branco/AC. Os grãos da variedade crioula Gurgutuba branco foram adquiridos direto do produtor em Cruzeiro do Sul/AC, coordenadas E-792598. 00 N-9141665. 21, Zona 18M, safra 2017. Foram realizados os testes de grau de infestação, teor de água, massa específica, germinação e condutividade elétrica para caracterização inicial dos grãos (Tabela 1).

**Tabela 1** – Caracterização inicial dos grãos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L)

Características dos Grãos	Variedade
	Gurgutuba branco
Infestação por insetos-praga (%)	3,67
Teor de água (% b.u.)	11,12
Massa específica aparente (kg m <sup>-3</sup> )	662,70
Percentual de germinação (%)	66,25
Condutividade elétrica (μS cm <sup>-1</sup> g <sup>-1</sup> )	70,38

**Fonte:** Elaborado pelos autores (2019).

Após caracterização inicial, os grãos foram embalados em sacos de silo de polietileno e garrafas de polietileno tereftalato (Pet). Os sacos tinham capacidade para 0,5 kg (embalagens retangulares de 0,3 m x 0,2 m) com 0,00025 m de espessura, compostos de três camadas, pretos no lado interno e brancos no lado externo com estabilizadores UV, selados com uma máquina de selagem multiusos (barra quente 0,4 m). As garrafas pet foram devidamente seladas com uma tampa de rosca. As garrafas plásticas foram reutilizadas, apresentavam transparência, capacidade de 0,6 L e espessura de 0,00027 m. Com relação ao tratamento controle, estas foram fechadas com tecido tipo organza, a fim de permitir as trocas gasosas com o ecossistema interior das garrafas e o meio externo. O experimento foi conduzido em ambiente controlado durante 30, 60, 90 e 120 dias, com temperatura de 25 °C ± 1,5 °C e umidade relativa de 76 % ± 12,5 %. As avaliações foram realizadas a cada 30 dias.

Para avaliação da variável grau de infestação, foram utilizadas duas amostras de 100 sementes crioulas, retiradas aleatoriamente, que foram imersas em água durante 24 horas. Após esse período, os grãos foram retirados da água e secos em papel toalha, cortados e examinados individualmente. Consideraram-se infestados os grãos com as características do protocolo descrito em Regras de Análises de Sementes – RAS (BRASIL, 2009).

Para a determinação do teor de água dos grãos, foram utilizados 30,0 g em triplicata para cada uma das quatro repetições. Essas amostras foram colocadas em estufa com convecção forçada de ar e aquecimento regulado a 105°C ± 3°C durante 24 h. Após este período, procedeu-se à pesagem das amostras com auxílio de uma balança analítica com precisão de 0,01 g. Adotou-se a rotina descrita em Regras de Análises de Sementes – RAS (BRASIL, 2009).

A determinação da massa específica aparente foi feita com auxílio de balança hectolétrica, com capacidade de um quarto de litro (250,0 ml). Foram efetuadas leituras em triplicata para cada amostra, sendo escolhidas a média simples das três. Como o peso hectolitro de uma amostra varia de acordo com o seu teor de água, foram feitas determinações simultaneamente (BRASIL, 2009).

O percentual de germinação foi realizado com oito repetições de 50 grãos, em substrato papel padrão, umedecido com água destilada em proporção de 2,5 vezes o peso do papel, foram colocados sobre duas folhas posteriormente coberto por outra folha do mesmo papel e embalado em formato de rolos. Os rolos foram alocados em posição horizontal dentro do germinador e mantidos numa temperatura de 25 ± 1 °C. A contagem foi realizada ao final do nono dia após a semeadura; consideram-se germinados a protrusão do tegumento, protocolo descrito em Regras de Análises de Sementes – RAS (BRASIL, 2009).

Para a variável condutividade elétrica da solução, foram realizadas três repetições de 50 grãos, retirados aleatoriamente de cada tratamento. Os grãos foram pesados em balança com precisão de

0,01 g e colocados em copos de plásticos com capacidade para 200 ml, aos quais foram adicionados 75 ml de água destilada. Em seguida, os copos foram postos em câmara climática do tipo BOD à temperatura de 25 °C, durante 24 horas. Após esse período, foram retirados da câmara para que fossem realizadas as medições da condutividade elétrica da solução contendo os grãos utilizando-se de um condutivímetro de bancada. O valor da condutividade elétrica ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ ) fornecido pelo aparelho devidamente calibrado foi dividido pela massa total dos grãos, obtendo-se o valor expresso em  $\mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$  de massa total (VIEIRA; CARVALHO, 1994)

Utilizou-se o esquema fatorial de parcelas subdivididas, com quatro repetições. As parcelas foram representadas pelas condições de armazenagem (silo tipo bolsa, garrafa pet e controle) e a subparcela por cinco períodos de armazenamento (0, 30, 60, 90 e 120 dias). Os dados foram submetidos à verificação da normalidade dos resíduos (SHAPIRO; WILK, 1965) e homogeneidade das variâncias (COCHRAN, 1957). Observada a normalidade dos resíduos e a homogeneidade das variâncias, procedeu-se com a análise de variância (Teste F) ao nível de 5% de probabilidade.

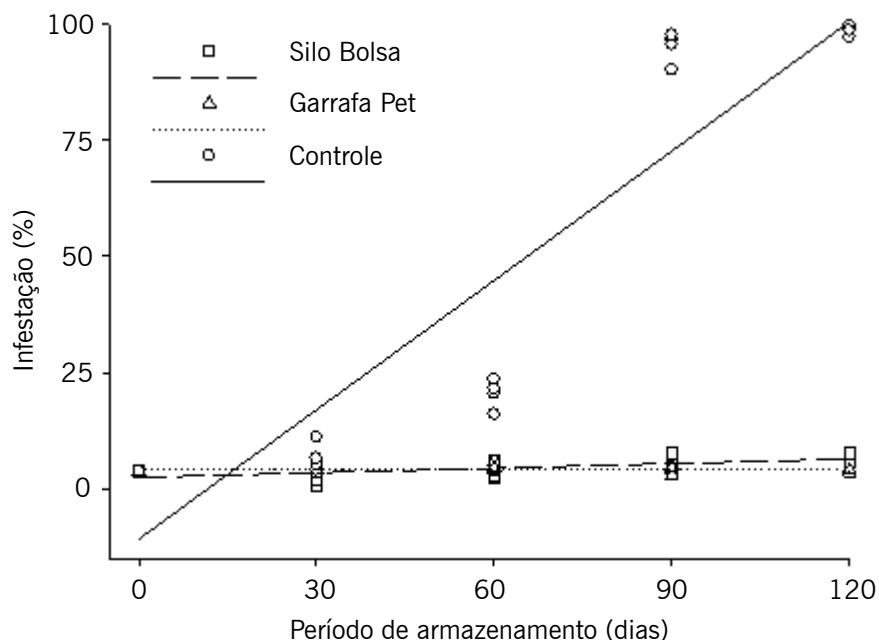
As condições de armazenagem foram comparadas pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Os dados de teor de água, massa específica aparente, condutividade elétrica, percentual de germinação e grau de infestação foram submetidos à análise com a utilização do software SISVAR, versão 5.6 (FERREIRA, 2014). Para as interações significativas, foram realizadas análises de regressão em função do tempo, por meio do software SigmaPlot®, versão 11.0 (SPSS, 2006).

## Resultados e discussão

Foi possível identificar nos grãos a presença de *Zabrotes. subfasciatus* e o *Acanthoscelides obtectus*. Estas espécies apresentam hábito alimentar primário e importância econômica reconhecida (FARONI; SOUSA, 2006). O grau de infestação de insetos-praga nos grãos de feijão crioulo variou significativamente ao longo do armazenamento ( $F_{4,36} = 1667,41$ ;  $p \leq 0,01$ ), entre os sistemas ( $F_{2,36} = 1777,50$ ;  $p \leq 0,01$ ), houve interação ( $F_{8,36} = 1512,30$ ;  $p \leq 0,01$ ) ao final do período de 120 dias.

Os resultados da infestação por *Z. subfasciatus* e *A. obtectus* nos grãos de feijão crioulo durante o período de armazenamento estão apresentados na Figura 1 e na Tabela 2. Foram ajustados a modelos de regressão apenas para as características que apresentaram variação significativa com o período de armazenamento. As características que não apresentaram variação significativa foram representadas pelas médias de seus valores.

**Figura 1** – Grau de infestação dos grãos de feijão crioulo Gurgutuba ao longo do período de armazenamento



**Fonte:** Elaborado pelos autores (2019).

**Tabela 2** – Modelos matemáticos utilizados para representar os valores ao longo do armazenamento, em cada sistema de armazenamento.

Variável	Armazenamento	Equações ajustadas	g.l.erro	F	P	R <sup>2</sup>
Grau de Infestação	Silo bolsa	$\hat{y}=2,4520+0,0330x$	18	20,56	0,0003	0,53
	Garrafa pet	$\hat{y}=4,13$	-	-	-	-
	Controle	$\hat{y}=10,7730+0,9264x$	18	96,71	<0,0001	0,83
Teor de Água	Silo bolsa	$\hat{y}=11,67$	-	-	-	-
	Garrafa pet	$\hat{y}=11,43$	-	-	-	-
	Controle	$\hat{y}=10,4815+0,0589x$	18	92,51	<0,0001	0,83
Massa Específica Aparente	Silo bolsa	$\hat{y}=666,14$	-	-	-	-
	Garrafa pet	$\hat{y}=656,8640+0,1531x$	18	23,63	0,0001	0,56
	Controle	$\hat{y}=676,3025 - 0,6127x$	18	35,93	<0,0001	0,66
Percentual de Germinação	Silo bolsa	$\hat{y}=60,3750 - 0,2600x$	18	72,13	<0,0001	0,80
	Garrafa pet	$\hat{y}=62,1750 - 0,2821x$	18	207,64	<0,0001	0,92
	Controle	$\hat{y}=65,6375 - 0,5933x$	18	480,32	<0,0001	0,96
Condutividade Elétrica	Silo bolsa	$\hat{y}=68,1440+0,1571x$	18	11,29	0,0035	0,38
	Garrafa pet	$\hat{y}=68,3690+0,1317x$	18	89,08	<0,0001	0,83
	Controle	$\hat{y}=53,4455+0,8253x$	18	51,09	<0,0001	0,73

**Fonte:** Elaborado pelos autores (2019).

O grau de infestação nos grãos armazenados em silos do tipo bolsa foi significativo ( $p \leq 0,05$ ) (Tabela 2), no entanto, foi constante durante todos os períodos de armazenamento e não proporcionou incremento que promovesse depreciação acentuada do produto, exceto no tratamento controle (Figura 1). Na mesma figura, o modelo linear representa satisfatoriamente os valores experimentais, sendo significativo a 1% de probabilidade pelo Teste Tukey, apresentando valores aceitáveis na

literatura para o coeficiente de determinação ( $R^2$ ). Ocorreu interação do tipo de armazenamento x período, os grãos armazenados em silo do tipo bolsa e garrafa pet apresentaram os menores percentuais de infestação.

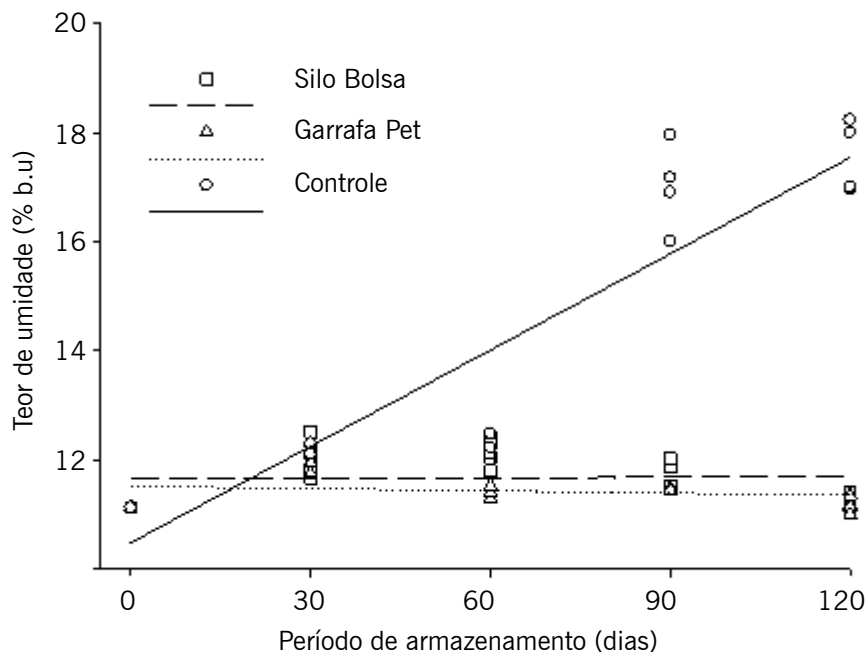
As diferenças observadas estão relacionadas às características genóticas (COELHO et al., 2010), ou ainda pela ocorrência de infestação cruzada (BRAGANTINI, 2005). Os resultados obtidos neste trabalho concordam com o entendimento de Rodriguez et al. (2019), que descrevem o ambiente hermético em silo do tipo bolsa como o causador da redução de  $O_2$  e o aumento de  $CO_2$ , desfavorecendo a reprodução de insetos. Em condições herméticas, o nível de oxigênio reduz drasticamente devido principalmente à respiração dos grãos (NAVARRO, 2012a; 2012b; NJOROGÉ et al., 2014). Com o aumento do nível de dióxido de carbono os insetos param de se alimentar e eventualmente morrem de asfixia ou dessecação (NJOROGÉ et al., 2014). A ocorrência de caruncho *A. obtectus* e o *Z. subfasciatus* pode estar associada a infestações cruzadas; ao infestar os grãos, o produto perde qualidade e pode ocorrer redução no percentual de germinação e vigor, entre outros prejuízos (SILVA, et al., 2013). Segundo Freitas (2009), o armazenamento de grãos em silo do tipo bolsa apresenta resultados bem elucidados e desponta como uma alternativa viável no controle de insetos-praga. Porém, em condição não hermética de armazenagem, os índices de infestação crescem exponencialmente ao longo do armazenamento. Para a certificação de grãos de feijão, é tolerado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento até 3% de infestação (MAPA, 2013). O resultado obtido para a variedade testada extrapola os parâmetros fixados pelo MAPA.

O resultado do teor de água dos grãos da variedade Gurgutuba branco estão apresentados na Figura 2 e na Tabela 2. O teor de água dos grãos do feijão crioulo variou significativamente ao longo do armazenamento ( $F_{4,36} = 108,93$ ;  $p \leq 0,01$ ), entre os sistemas ( $F_{2,36} = 584,11$ ;  $p \leq 0,01$ ), houve interação ( $F_{8,36} = 121,06$ ;  $p \leq 0,01$ ) conforme resumo da análise de variância.

Os dados foram ajustados para modelos de regressão, apenas para as características que apresentaram variação significativa com o período de armazenamento.

Os teores de água dos grãos não variaram significativamente ( $p \geq 0,05$ ) ao longo dos 120 dias de armazenamento nos tratamentos silo do tipo bolsa e garrafa pet. Ao contrário do tratamento controle, que apresentou incrementos maiores ( $p \leq 0,05$ ) em relação aos demais tratamentos (Figura 2). Os teores de água dos grãos armazenados em silos tipo bolsa e garrafas pet mantiveram-se constantes durante todo período de armazenamento. O modelo linear utilizado atende aos valores experimentais, sendo significativo a 1% de probabilidade pelo Teste Tukey, apresentando significativo valor para o coeficiente de determinação ( $R^2$ ). Houve interação entre armazenamento *versus* período. Não houve diferença significativa entre os tratamentos silo do tipo bolsa e garrafa pet ao final do período de 120 dias, no entanto, eles diferiram estatisticamente ( $p \leq 0,05$ ) do tratamento controle.

Schneider et al. (2014), trabalhando com feijão comum, observaram que os grãos armazenados em embalagens impermeáveis por 120 dias em ambiente controlado conservaram sua qualidade fisiológica e sanitária. Os resultados obtidos corroboram o verificado por Costa et al. (2010), que observaram não existir aumento do teor de água dos grãos de milho armazenados hermeticamente. O efeito do armazenamento hermético sobre grãos é corroborado pelo estudo com embalagens plásticas de tripla camada (MUTUNGI et al., 2015), no qual foram obtidos resultados similares a este trabalho.

**Figura 2** – Teor de umidade dos grãos do feijão crioulo Gurgutuba ao longo do período de armazenamento

**Fonte:** Elaborado pelos autores (2019).

Os resultados obtidos referentes à massa específica aparente dos grãos de feijões crioulos ao longo do período de armazenamento variaram significativamente ( $F_{4,36} = 45,45$ ;  $p \leq 0,01$ ) entre os sistemas ( $F_{2,36} = 332,00$ ;  $p \leq 0,01$ ), houve interação ( $F_{8,36} = 70,40$ ;  $p \leq 0,01$ ). Estão apresentados na Figura 3 e na Tabela 2 os resultados para a massa específica aparente ao longo do armazenamento, em que se verificou que a massa específica aparente dos grãos crioulos armazenados no controle foi menor que a massa específica aparente dos grãos armazenados nas condições herméticas. As perdas registradas de massa específica aparente ao longo do armazenamento nos grãos de feijão Gurgutuba no tratamento controle está associada ao aumento do teor de água, favorecido pela presença de insetos, o que foi observado a partir dos 30 e 60 dias de armazenamento respectivamente (Figura 2). O modelo de regressão linear apresentado satisfaz o valor experimental, sendo significativo a 1% de probabilidade pelo Teste Tukey, exibindo valores significativos para o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) (Tabela 2).

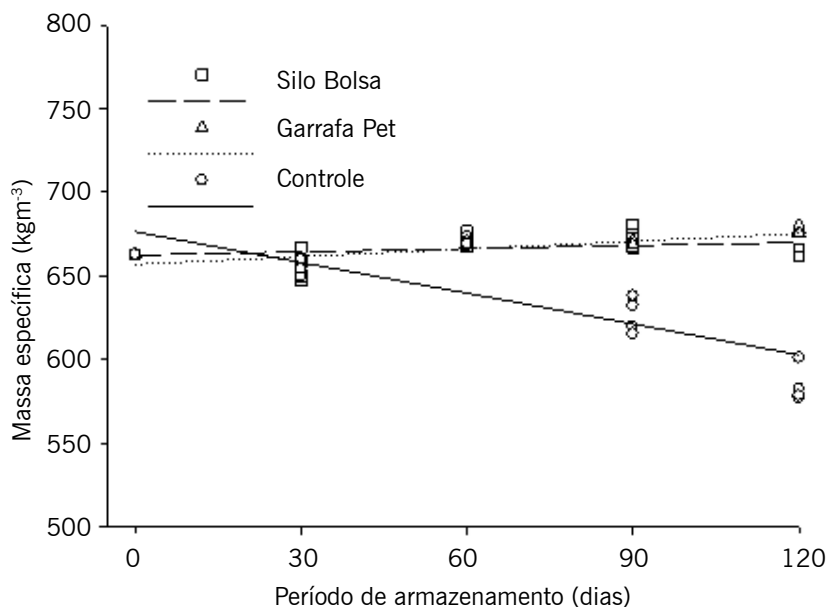
Ocorreu interação para a variável massa específica na variedade crioula Gurgutuba, percebe-se que o valor da massa específica dos grãos armazenados em silo do tipo bolsa não apresentou redução ao longo do armazenamento. Os tratamentos silo do tipo bolsa e garrafa pet obtiveram os menores incrementos ao longo do período de armazenamento (Figura 3).

Os grãos armazenados em silo do tipo bolsa e garrafa pet apresentaram os melhores resultados ( $p \leq 0,05$ ) em relação ao tratamento controle. De acordo com Freitas et al. (2011), as perdas registradas na densidade aparente dos grãos armazenados podem estar associadas ao aumento do teor de umidade, à presença de fungos e de insetos-pragas, a partir de 60 dias. Por outro lado, para Di Lanaro (2011), a redução dos valores da densidade dos grãos pode ser explicada pela menor densidade da água em relação aos demais componentes deste; como o aumento das dimensões dos grãos aumenta a porosidade, a densidade aparente se reduz. De acordo com Jesus et al. (2013), o valor do teor de água é inversamente proporcional ao da massa específica aparente. Para Freitas (2009),



o comportamento similar dos grãos nos sistemas de armazenamento pode estar associado principalmente ao baixo teor de água e à ausência de fungos, uma vez que ocorre a redução da água metabolizada no processo respiratório dos grãos conservando o teor de água da massa de grãos. Os tipos de sistemas de armazenamento silo do tipo bolsa e garrafa Pet apresentaram maior massa específica ( $p \geq 0,05$ ), sugerindo eficácia na manutenção dessa variável ao longo do período de 120 dias de armazenamento. Costa et al. (2010), trabalhando com milho armazenado em silo do tipo Bolsa, concluíram que não houve decréscimo significativo da massa específica aparente do produto ao longo do armazenamento nas condições testadas. Nogueira et al. (2014), estudando a validação de modelo matemático para armazenamento de milho, concluíram que o sistema silo do tipo bolsa é uma técnica viável para armazenamento de grãos.

**Figura 3** – Massa específica dos grãos de feijão crioulo Gurgutuba ao longo do período de armazenamento.

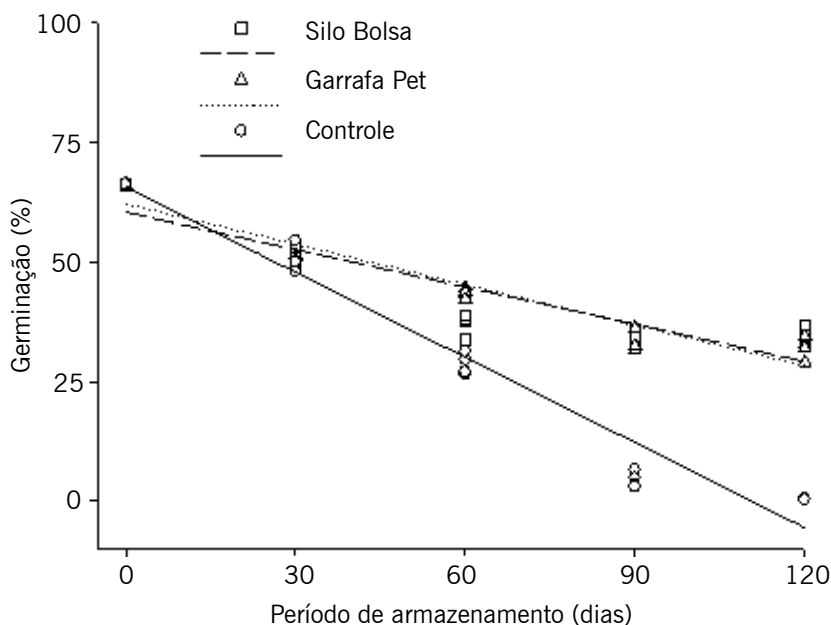


**Fonte:** Elaborado pelos autores (2019).

Os resultados obtidos para variável germinação nos grãos de feijões crioulos ao longo do período de armazenamento variaram significativamente ( $F_{4,36} = 1511,53$ ;  $p \leq 0,01$ ) entre os sistemas ( $F_{2,36} = 812,83$ ), houve interação entre estes fatores ( $F_{8,36} = 130,62$ ;  $p \geq 0,01$ ). Os resultados obtidos no percentual de germinação dos grãos de feijão crioulos durante o armazenamento são apresentados na Figura 4 e na Tabela 2. Foram ajustados modelos de regressão apenas para as características que apresentaram variação significativa com o período de armazenamento. As características que não apresentaram variação significativa foram representadas pelas médias de seus valores. Foi observado no decorrer do período de armazenamento que a germinação dos grãos das variedades crioulas armazenadas no tratamento controle foi menor ( $p \leq 0,05$ ) que os percentuais de germinação dos grãos armazenados em silo do tipo bolsa e garrafa pet (FIGURA 4), constituindo o resultado mais acentuado no controle. O modelo linear representa satisfatoriamente aos valores experimentais, sendo significativo a 1% de probabilidade pelo Teste Tukey, apresentando valores aceitáveis para o coeficiente de determinação ( $R^2$ ). Ocorreu interação do tipo de armazenamento *versus* período, percebe-se que o percentual de germinação dos grãos é afetado ao longo do período de armazenamento dependendo do tipo de armazenamento. Os grãos de feijão das variedades

Gurgutuba em silo do tipo bolsa e garrafa pet reduziram linearmente o percentual de germinação ao longo do período de armazenamento, no entanto, essa redução foi maior no tratamento controle. Foi observada ao final de 120 dias de armazenamento diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) entre os tipos de armazenamento. Destacaram-se os tratamentos silo do tipo bolsa e garrafa pet como os melhores ao final de 120 dias. De acordo com Silva et al., (2108), o incremento negativo é mais expressivo no tratamento controle, com redução de até 100% na germinação. O percentual de germinação reduziu proporcionalmente conforme o teor de água dos grãos aumentou (Figura 4), estabelecendo uma possível correlação. Todavia, a queda no percentual de germinação também pode ser associada às perdas registradas no grau de infestação, haja vista que os ajustes realizados no modelo de regressão para estas variáveis apresentaram tendências similares na qualidade dos grãos (FIGURA 2). Esses resultados são corroborados por Silva et al. (2018), quando estabeleceram correlações sugerindo que o teor de água e a condutividade elétrica aumentaram com o incremento do grau de infestação, e a massa específica e a germinação reduziram com o incremento do grau de infestação. O percentual de germinação acima de 70% é padrão mínimo exigido pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento para comercialização (MAPA, 2013), na caracterização inicial essa variável já estava abaixo dos padrões exigidos, no entanto, o incremento negativo foi menor nos silos bolsa e garrafa pet. As diferenças entre genótipos sugerem existir variabilidade genética e esse caractere sofrer influência do ambiente (MICHELS et al., 2014).

**Figura 4** – Germinação de grãos de feijão crioulo Gurgutuba ao longo do período de armazenamento



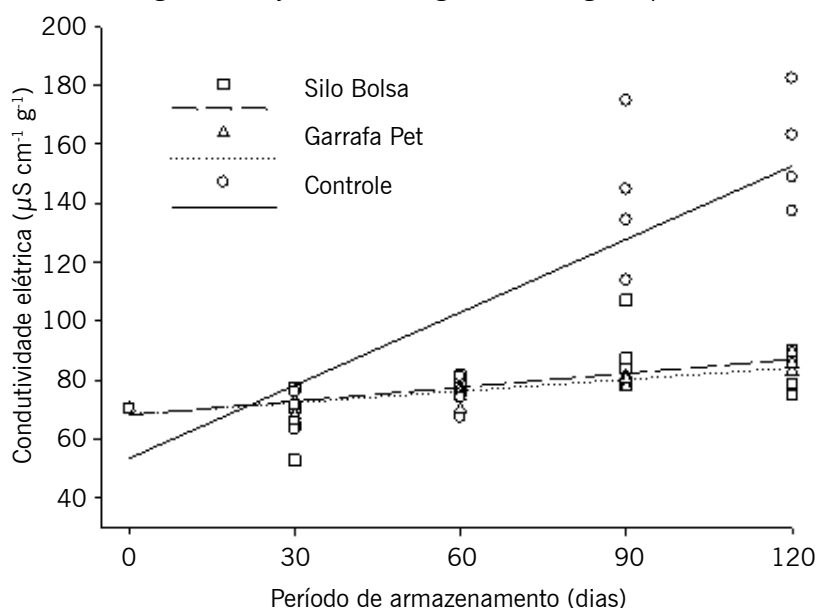
**Fonte:** Elaborado pelos autores (2019).

Os resultados obtidos para condutividade elétrica dos grãos de feijões crioulos ao longo do período de armazenamento variaram significativamente ( $F_{4,36} = 39,42$ ;  $p \leq 0,01$ ) entre os sistemas ( $F_{2,36} = 112,64$ ;  $p \leq 0,01$ ), houve interação ( $F_{8,36} = 16,34$ ;  $p \leq 0,01$ ). Os resultados da condutividade elétrica dos grãos de feijões crioulos ao longo do período de armazenamento são apresentados na Figura 5 e na Tabela 2. Foram ajustados modelos de regressão apenas para as características que apresentaram variação significativa. As características que não apresentaram variação significativa foram representadas pelas médias de seus

valores. O modelo linear representa adequadamente os dados experimentais, sendo significativo a 1% de probabilidade pelo Teste Tukey, apresentando valores aceitáveis para o coeficiente de determinação ( $R^2$ ). Ocorreu interação do tipo de armazenamento *versus* período. Observa-se que os valores da condutividade elétrica são afetados ao longo do período de armazenamento dependendo do tipo de armazenamento (Figura 5). A condutividade elétrica da solução contendo os grãos variou significativamente ( $p \leq 0,05$ ) ao longo do período de armazenamento nos sistemas silo do tipo bolsa e Garrafa Pet (Tabela 2), mas essa variação foi inexpressiva em relação ao tratamento controle ( $p \leq 0,01$ ). O aumento na condutividade elétrica na solução contendo os grãos foi mais expressivo no tratamento controle a partir de 60 dias (Figura 5), o que indica maior lixiviação eletrolítica dos solutos celulares nesses grãos. Os resultados indicam a eficácia dos tipos de armazenamento silo do tipo bolsa e garrafa pet, que apresentaram baixa lixiviação de solutos nos grãos armazenados.

Não ocorreu diferença significativa ( $p \geq 0,05$ ) para as médias da condutividade elétrica ao final de 120 dias entre os tipos armazenamentos, exceto o tratamento controle. Destacaram-se os tratamentos silo do tipo bolsa e garrafa pet como os melhores ao final de 120 dias. Para Zambiasi (2015), o tempo de armazenamento, influencia diretamente os valores da condutividade elétrica a partir dos 60 dias. Por outro lado, Pereira et al. (2007) correlacionaram o acréscimo nos valores da condutividade elétrica da solução que contém grãos com o grau de infestação por insetos-praga, confirmando os resultados obtidos neste trabalho (Figura 1). Para Marcos Filho (2015), concentrações elevadas indicam elevada lixiviação nos solutos e estão conectadas a grãos de baixa qualidade. Cassol (2017) afirma que lixiviação de eletrólitos indica menor estabilidade da membrana plasmática; logo, quanto maior o valor da condutividade elétrica, maior a interferência na qualidade do grão, em função da liberação íons minerais. O aumento da condutividade elétrica obtidos neste estudo pode estar associado ao aumento no teor de água e ao elevado grau de infestação por insetos-praga (Figuras 1 e 2). Silva et al. (2018) estabelecem análises de correlações, sugerindo que o teor de água e a condutividade elétrica aumentaram com o incremento do grau de infestação e que a massa específica e a germinação reduziram com o incremento do grau de infestação.

**Figura 5** – Condutividade elétrica de grãos de feijão crioulo Gurgutuba ao longo do período de armazenamento



Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

## Conclusão

O armazenamento hermético em silo do tipo bolsa e garrafa Pet é alternativa eficaz no controle da infestação de insetos pragas (*A. obtectus* e *Z. subfasciatus*) e não compromete as qualidades fisiológicas dos grãos em relação ao teor de água, massa específica, germinação e condutividade elétrica pelo período de até 120 dias.

## Quality of white Gurgutuba creole beans stored in silo bags and PET bottles

### Abstract

Hermetic storage in silo bag has provided a viable alternative for farms. This study evaluates the use of silo bags as an alternative for storing creole beans. The experiment was conducted in the UFAC seed laboratory. The beans were stored in silo bags for 30, 60, 90 and 120 days or in PET bottles, which is the common practice. In the control treatment, PET bottles sealed with organza fabric were used. The experimental model was factorial CRD with subdivided plots and four replications, with the plots being storage conditions; and sub-plots, storage periods. The degree of infestation, moisture content, apparent specific mass, germination percentage and electrical conductivity were evaluated at 30-day intervals. There was significant variation ( $p < 0.05$ ) between storage types *Zabrotes subfasciatus* (Boheman) and *Acanthoscelides obtectus* (Say) (Coleoptera: Chrysomelidae, Bruchinae), then infestations occurred. Infestation using these bruchids was  $< 7\%$  in the beans stored in the silo bag and PET bottle. For the control treatment, the degree of infestation was slightly higher ( $p < 0.05$ ) with rates of  $> 90\%$  after 120 days. The moisture content, specific mass, germination, and electrical conductivity of the beans stored in the silo bag and PET bottle preserved the characteristics analyzed over the 120-day period with the exception of control treatment. Storage in silo bags is an effective alternative for controlling infestation and maintaining quality, in terms of moisture content, specific mass, germination, and electrical conductivity, for up to 120 days.

**Keywords:** *Phaseolus vulgaris* L. Modified atmosphere. Hermetic. Infestation.

### Referências

BARONI, G. D.; BENEDETI, P. H.; SEIDEL, D. J. Cenários prospectivos da produção e armazenagem de grãos no Brasil. **Revista Thema**, v. 14, n. 4, p. 55-64, 2017. Disponível em:  $< \text{DOI: } \text{http://dx.doi.org/10.15536/thema.14.2017.55-64.452} >$

BOHNER, T. O. L.; ARAÚJO, L. E. B.; NISHIJIMA, T. O. Impacto ambiental do uso de agrotóxicos no meio ambiente e na saúde dos trabalhadores rurais. **Revista Eletrônica do Curso de Direito**, v. 8, edição especial, p. 329-341, 2013. Disponível em:  $< \text{DOI: } \text{http://dx.doi.org/10.5902/198136948280} >$

BRAGANTINI, C. **Alguns aspectos do armazenamento de sementes e grãos de Feijão**. Santo Antônio de Goiás. Embrapa Arroz e Feijão. 2005. 28 p.

Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA. **Instrução Normativa nº 45**, de 21 de setembro de 2013. Anexo XI - Padrões para produção e comercialização de sementes de feijão. (*Phaseolus vulgaris* L.). Disponível em: [http://www.lex.com.Br/legis\\_24861657\\_InstruçãoNormativa\\_N\\_45\\_DE\\_17\\_de\\_setembro\\_de\\_2013.aspx](http://www.lex.com.Br/legis_24861657_InstruçãoNormativa_N_45_DE_17_de_setembro_de_2013.aspx). Acesso em: 15 março de 2019.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Secretaria de Defesa Agropecuária (ACS). **Regras para análise de sementes (RAS)**. Brasília: MAPA, 2009.399 p.

CASSOL, F. D. R. **Características agrônômicas, nutricionais e tecnológicas de grãos de feijão carioca armazenados, cultivados em sistemas orgânico e convencional**. 2017. 112 f. Tese (Doutorado) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Cascavel, Cascavel, 2017.

COCHRAN, W. G.; COX, G. M. (1968). **Experimental Designs**. 2 ed. New York: Wiley, 1957. 611 p.

COELHO, C. M. M.; MOTA, M. R.; SOUZA, C. A.; MIQUELLUTI, D. J. Potencial fisiológico em sementes de cultivares de feijão crioulo (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 32, n. 3, p. 097-105, set. 2010.

COSTA, A. R. da.; FARONI L. R.; D'ANTONINO.; ALENCAR E. R. de; CARVALHO, M. C. S.; FERREIRA, L. G. Qualidade de grãos de milho armazenados em silos bolsa. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 2, p. 200-207, abr-jun, 2010.

JESUS, F. F. de; DE SOUZA, R. T.; DA SILVA, T. G. C.; TEIXIERA, I. R.; DEVILLA, I. A. Propriedade físicas de sementes de feijão em função dos teores de água. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 21, n. 1, p. 09-18, jan./fev. 2013.

LIMA JÚNIOR, A. F. de; OLIVEIRA, I. P. de; ROSA, S. R. A. da; SILVA, A. J. da; MORAIS, M. M. de. Controle de pragas de grãos armazenados: uso e aplicação de fosfetos. **Revista Eletrônica Faculdade Montes Belos**, v. 5, n. 4, 2012.

LANARO, N. di; BAJAY, L. G.; QUEIROZ, V. M. P.; PINTO, R. C. S.; ALBUQUERQUE, L. I. G. de; LESSIO, B. C.; AUGUSTO, P. E. D. Determinação de propriedades físicas do feijão fradinho. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 13, n. 1, p. 27-35, abr. 2011.

ELIAS, H. T.; VIDIGAL, M. C. G.; GONELA, A.; VOGT, G. A. Variabilidade genética em germoplasma tradicional de feijão preto em Santa catarina. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 10, p. 1443-1449, 2007.

FARONI, L. R. A.; SOUSA, A. H. Aspectos biológicos e taxonômicos dos principais insetos-praga de produtos armazenados. In: ALMEIDA, F. A. C.; DUARTE, M. E. M.; MATA, M. E. R. M. C. **Tecnologia de Armazenagem em sementes**, Campina Grande, 2006. p. 371-402.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência agrotecnologia**, v. 38, n. 2, p. 109-112, mar./abr. 2014.

- FREITAS, R. S. **Qualidade de grãos de feijão armazenados sob atmosfera modificada**. 2009. 58 f. Dissertação (Mestre em Agronomia: Fitotecnia) Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró-RN.
- MARCHER, E. J. **Sistema Silo-Bolsa**. Disponível em: <[www.marcher.com.br/silo-bolsa/graos](http://www.marcher.com.br/silo-bolsa/graos)>. Acesso em: 11 de fev. de 2020.
- MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Piracicaba: Fealq, 2005. 495 p.
- MICHELS, A. F.; SOUZA, C.A.; COELHO, C. M. M.; ZILIO, M. Qualidade fisiológica de sementes de feijão crioulo produzidas no oeste e planalto catarinense. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 45, n. 3, p. 620-632, jul.-set, 2014.
- MATTAR, E. P. L.; OLIVEIRA, E. de; NAGY, A. C. G.; ARAÚJO, M. L.; JESUS, J. C. S. de; SIVIERO, A. DESCRIÇÃO DE CULTIVARES CRIOULOS CULTIVADOS NO VALE DO JURUÁ. Embrapa Acre-Livro Técnico (INFOTECA) (2016).
- MUTUNGI, C.; AFFOGNON, H.D.; NJOROGE, A.W.; MANONO, J.; BARIBUTSA, D.; MURDOCK, L.L. Triple-layer plastic bags protect dry common beans (*Phaseolus vulgaris*) against damage by *Acanthoscelides obtectus* (Coleoptera: Chrysomelidae) during storage. **Journal of Economic Entomology**, Oxford, v. 108, n. 5, p. 2479–2488, oct. 2015.
- NAVARRO, S. Advanced grain storage methods for quality preservation and insect control based on aerated or hermetic storage and IPM. **Jornal Agricultural Engineering**, v. 49, n. 1, p. 13-20, Jan. 2012a.
- NAVARRO, S. The use of modified and controlled atmospheres for the disinfestation of stored products. **Journal of Pest Science**, v. 85, n. 3, p. 301-322, dec. 2012b.
- NJOROGE, A. W.; AFFOGNON, H. D.; MUTUNGI, C. M.; MANONO, J.; LAMUKA, P.O.; MURDOCK, L. L. Triple bag hermetic storage delivers a lethal punch to *Prostephanus truncatus* (Horn) (Coleoptera: Bostrichidae) in stored maize. **Journal Stored Products Research**. v. 58, n. 3, p. 12-19. July 2014.
- NOGUEIRA, R. M.; HERRERA, B. B.; RUFFATO, S.; PIRES, E. M. Simulação e validação de um modelo matemático para o perfil de temperatura do milho armazenado em silo-bolsa. **Cientifica**, v. 42, n. 4, p. 330-337, jun. 2014.
- PEREIRA, A. M.; FARONI, L. R. D. A.; SOUSA, A. H.; URRUCHI, W. I.; ROMA, R. C. C. Efeito imediato e latente da fumigação com ozônio na qualidade dos grãos de milho. **Revista Brasileira de Armazenamento**, v. 32, n. 2, p. 100-110, dez. 2007.
- RODRÍGUEZ, J. C.; BARTOSIK, R. E.; MALINARICH H. D.; EXILART, J. P.; NOLASCO, M. E. **Almacenaje de granos en bolsas plásticas**: sistema silobag. Disponível em: <<https://www.engormix.com/agricultura/articulos/almacenaje-de-granos-en-bolsas-plasticas-t26448.htm>>. Acesso em: 12 de mar. 2019.
- SANTOS, W. D. dos; CHAVAGLIA, R. F. A importância do controle de armazenagem para conservação e comercialização de grãos. **Revista Científica do Centro de Ensino Superior Almeida Rodrigues**, FAR/ISEAR, Ano 5, nº 5, jan. 2017.

SCHNEIDER, C. F.; MALAVASI, M. M.; TOLEDO, M. V.; STANGARLIN, J. R.; MALAVASI, U. C. Armazenamento de sementes de feijão submetidas a tratamentos sanitários alternativos. **Revista Verde**, v. 9, n. 4, p. 278 - 283, out-dez, 2014.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality (complete samples). **Biometrika**, v. 52, n. 3-4, p. 591-611, 1965.

SILVA, J. F.; MELO, B. A. DE; LEITE, D. T.; ALMEIDA, F. DE A. C.; PESSOA, E. B. Dados biológicos de *Zabrotes subfasciatus* (Bohemann, 1833)(Coleoptera: Bruchidae) em dois genótipos de *Phaseolus vulgaris* L. **Revista Verde**, v. 8, n. 3, p. 06-09, jul-set, 2013.

SILVA, M. G.; SILVA, G. N.; SOUSA, A. H.; FREITAS, R. S.; SILVA, M. S.; ABREU, A. O. Hermetic storage as an alternative for controlling *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: Chrysomelidae) and preserving the quality of cowpeas. **Journal of stored products research**, v. 78, p. 27-31, set, 2018.

SOARES JÚNIOR, M. S.; CALIARI M.; BECKER F. S.; SOUZA, E. R. B.; VERA, R. Propriedades físicas e químicas de grãos de feijões crioulos vermelhos. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 1, p. 263 – 269, jan-mar, 2015.

SPSS. **Sigma Plot user's guide**, Version 10.0. Chicago: SPSS, 2006.

TUKEY, J. W. Comparing individual means in the analysis of variance. **International Biometric Society**, v. 5, n. 2, p. 99-114, 1949.

VIEIRA, R. D.; CARVALHO, N. M. **Testes de vigor em sementes**. Jaboticabal: FUNEP, 1994. 164 p.

WANDER, A. E.; CASTRO, E. de C. Cadeia de produção de sementes de feijão no Brasil analisada sob a ótica da nova economia institucional. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 31, n. 3, p. 475-492, set./dez. 2014.

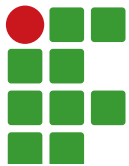
WACHTER, S. A.; PEREIRA, F. de A. R. Custo de armazenagem de grãos no sistema Silos bolsa. **Comunicação & Mercado/Unigran**, v. 4, n. 9, p. 245-253, jan-jun/2015.

ZAMBIASI, C. A. **Qualidade de grãos de feijão armazenados em diferentes condições de temperatura**. 2015. 77 f. Tese (Doutorado Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2015.

**Submetido em:** 14 de agosto de 2019

**Aceito em:** 16 de abril de 2020





# Modos de aplicação e doses de inoculação com *Azospirillum* no desempenho agrônômico do milho segunda safra

Ivan Vilela Andrade Fiorini<sup>1</sup>

Cassiano Spaziani Pereira<sup>2</sup>

Mateus Emanuel Schoffen<sup>3</sup>

Mauricio Escobar Tonial<sup>4</sup>

Daniele Costa Sabino<sup>5</sup>

Adriano Alves da Silva<sup>6</sup>

## Resumo

Para alcançar altas produtividades para o milho de segunda safra semeado após a colheita da soja, são necessárias altas doses de fertilizantes nitrogenados. A inoculação de bactérias associativas de vida livre fixadoras de nitrogênio, como as do gênero *Azospirillum*, auxilia na diminuição do uso de fertilizantes nitrogenados. Objetivou-se avaliar características relacionadas ao desempenho agrônômico do milho híbrido DKB390Y em resposta a diferentes modos de aplicação, associadas a diferentes doses de inoculante à base de *Azospirillum brasiliense*. O experimento foi conduzido em uma área próxima a UFMT Campus Sinop, entre os meses de janeiro e junho de 2018. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em arranjo fatorial 3 x 5 (3 modos de aplicação: pulverização foliar, aplicação foliar com gelatina bovina e com auxílio de um rolo de tinta (Rapid Roller Bdpr 400-lã Black & Decker®) e 5 doses de inoculante: 0, 100, 200, 400 e 800 mL ha<sup>-1</sup>) com 4 repetições. Para os modos de aplicação, não foram obtidas diferenças significativas nas variáveis clorofila, altura das plantas, diâmetro de colmos, número de fileiras de grãos, número de grãos por fileira, comprimento de espigas, diâmetro de espigas e peso de mil grãos, exceto para a produtividade de grãos. A produtividade de grãos foi superior quando se inoculou 100 mL ha<sup>-1</sup> no modo via foliar e 200 mL ha<sup>-1</sup> no modo foliar com gelatina bovina.

**Palavras-chave:** *Zea mays* L. Bioestimulante. Clorofila. Aplicação foliar. Aplicação por rolo.

## Introdução

O milho *Zea mays* L. é um dos cereais mais cultivados no Brasil, com grande importância econômica, é matéria-prima na indústria, na ração animal e na alimentação humana (PEDRINHO et al., 2010). Segundo a CONAB (2019), a segunda safra de milho 2018/2019 no Mato Grosso atingiu 31.045 mil toneladas, com produtividade média de 6.376 kg ha<sup>-1</sup>, um aumento de 18,5 % na

1 Universidade Federal do Mato Grosso (UFMT) – Campus Sinop. Pós-doutorado, Bolsista PNPd CAPES. [ivanvaf@yahoo.com.br](mailto:ivanvaf@yahoo.com.br). Avenida Jacarandás, 6471, Parque das Ararás, Sinop/MT, 78.557-456.

2 UFMT – Campus Sinop/Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais (ICAA). Professor de Agronomia. [cassianospaziani@yahoo.com.br](mailto:cassianospaziani@yahoo.com.br).

3 UFMT – Campus Sinop/ICAA. Aluno de Agronomia. [mateusschoffen@yahoo.com.br](mailto:mateusschoffen@yahoo.com.br).

4 UFMT – Campus Sinop/ICAA. Aluno de Agronomia. [matheusschoffen@yahoo.com.br](mailto:matheusschoffen@yahoo.com.br).

5 UFMT – Campus Sinop/ICAA. Professor de Agronomia. [danielesabino@yahoo.com.br](mailto:danielesabino@yahoo.com.br).

6 Centro Universitário de Formiga (UNIFOR/MG). Professor titular I. [adrianoas@msn.com](mailto:adrianoas@msn.com).

produção e 8,8 % na produtividade em relação à safra anterior no estado favorecidas pela estação chuvosa regular, que possibilitou janela maior na semeadura e pleno desenvolvimento da planta.

Há diversos fatores que podem diminuir a produtividade de uma cultura, dentre eles destacam-se: ataque de pragas e doenças, manejo ineficiente do solo, baixa fertilidade, problemas meteorológicos (estresse hídrico e temperaturas elevadas). Para a cultura do milho o fator limitante para a obtenção de altas produtividades é a deficiência de nitrogênio (N) (FIORINI et al., 2019). Este nutriente pode ser disponibilizado de diversas formas para as plantas: fertilizantes nitrogenados, matéria orgânica do solo, adubos orgânicos de origem animal e vegetal e uma tecnologia que começou a ser utilizada recentemente, mas que sempre esteve presente na natureza, a fixação biológica do nitrogênio (PACENTCHUK et al., 2012).

O Brasil é pioneiro na inoculação de sementes com organismos envolvidos no processo de fixação biológica de nitrogênio (FBN). Prova disso é o uso massivo de inoculantes do gênero *Rhizobium* na cultura da soja, que são amplamente recomendados para a cultura, devido à eficiência da bactéria em suprir o alto requerimento de nitrogênio da cultura. Estimativas apontam para contribuições da FBN da ordem de mais de 300 kg de N ha<sup>-1</sup>, além da liberação de 20-30 kg N ha<sup>-1</sup> para a cultura seguinte (HUNGRIA et al., 2011).

Segundo Hungria (2011), o nitrogênio fixado pela bactéria varia de 30 a 50 kg por hectare ano<sup>-1</sup>. Campos et al. (2001) obtiveram resultados que os benefícios da inoculação anual geraram ganhos na produtividade de grãos na soja que variaram entre 80,0 e 291,0 kg ha<sup>-1</sup> correspondendo a incrementos de 4,0 % a 12,5 %. Ainda segundo os autores, uma problemática que vinha sendo enfrentada era o baixo teor de proteínas translocadas para os grãos, o que muitas vezes era insuficiente para atender as exigências da indústria. No entanto, as bactérias desempenharam papel fundamental para resolução dessa problemática, já uma vez que o nitrogênio proveniente da fixação biológica é mais facilmente translocado para os grãos do que o N mineral (HUNGRIA et al., 2010).

A partir daí, surgiu o interesse na obtenção dos benefícios proporcionados pelas bactérias diazotróficas do solo para os cultivos de não leguminosas também. O Brasil evoluiu bastante neste sentido e hoje é possível encontrar comercialmente inoculantes com bactérias do gênero *Azospirillum* recomendados para as mais diversas espécies pertencentes à família *Poaceae*, sendo comumente utilizados no cultivo de milho (CADORE, 2016).

*Azospirillum* é uma bactéria de vida livre no solo, que apresenta boa capacidade de fixação biológica de nitrogênio associativa com as plantas, mas sem a complexidade da formação de nódulos. Acredita-se que a população de *Azospirillum* pode variar de híbrido para híbrido, em função das diferentes características qualitativas e quantitativas dos exsudatos radiculares (CADORE, 2016). Esses microrganismos são considerados promotores do crescimento vegetal por terem a capacidade de fixação biológica de nitrogênio (HUERGO et al., 2008); produção de hormônios como auxinas, giberelinas e citocininas; solubilização de fosfatos e por atuarem como agente no controle biológico de patógenos (CORREA et al., 2008).

A forma de inoculação mais utilizada dá-se por meio do tratamento de sementes, contudo estudos realizados em outras culturas mostram que há efeito positivo quando se aplica o inoculante no sulco de semeadura (MÜLLER, 2013) e na forma de aplicação foliar (CICILIATO et al., 2015). Uma alternativa encontrada como tecnologia inovadora na inoculação foi a utilização de rolo de pintura modelo Rapid Roller Bdpr 400-lã Black & Decker®, na aplicação entrelinhas, com o intuito de espalhar uniformemente a calda e obter maior uniformidade de aplicação do produto. Pereira et al. (2018) obtiveram resultados positivos na utilização dessa tecnologia para aplicação de herbicidas no controle de plantas daninhas.

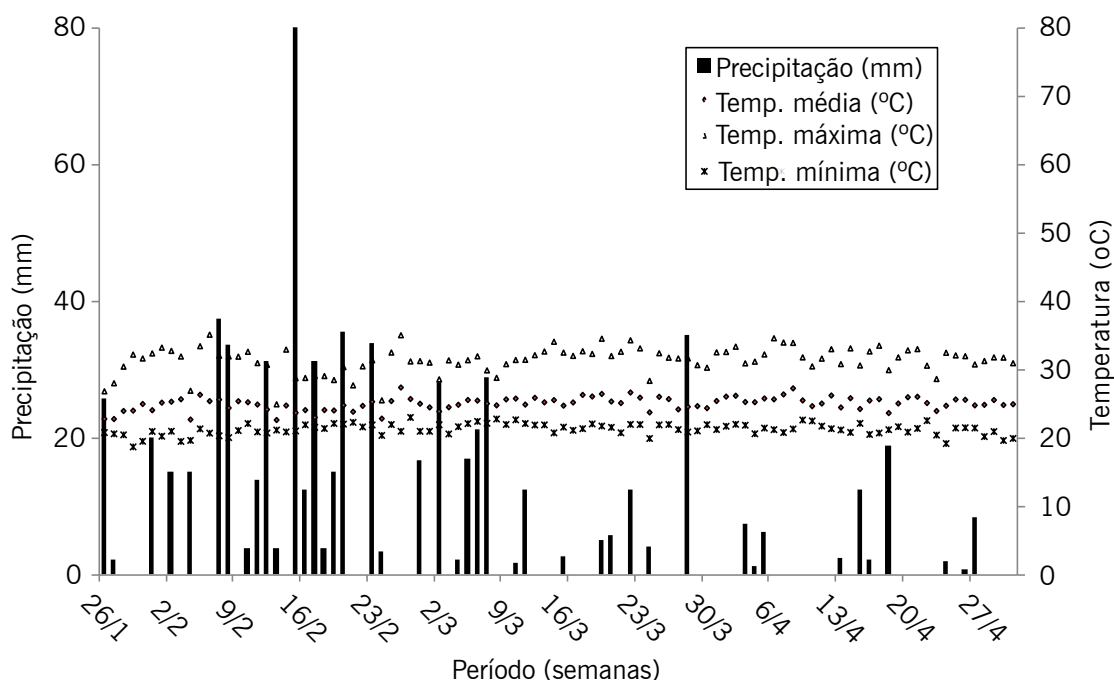
Com isso faz-se necessário aprofundar os estudos para avaliar os métodos de inoculação mais eficientes, incluindo novas tecnologias como os modos de aplicação. Este trabalho teve por objetivo avaliar a inoculação de *Azospirillum brasiliensis*, por meio de diferentes modos de aplicação e doses de inoculante.

## Material e métodos

O experimento foi conduzido em área comercial ao lado da Universidade Federal do Mato Grosso – UFMT, *Campus Sinop*, entre os meses de janeiro e junho de 2018. O local do experimento está localizado na latitude 11°86'32" S e longitude 55° 47'89" O e altitude de aproximadamente 380,0 m com topografia plana. O clima, segundo Köppen (1948), é classificado como Aw (tropical com inverno seco), possuindo duas estações bem definidas, sendo uma chuvosa entre outubro e abril e outra seca de maio a setembro, com baixa amplitude térmica anual variando entre 24,0 e 27,0 °C e a pluviosidade média anual da região é em torno de 2.100 mm (Souza et al., 2013).

A Figura 1 apresenta os dados climatológicos do período de condução do experimento, entre os dias 26 de janeiro de 2018 e 27 de abril de 2018.

**Figura 1** – Precipitação Pluvial (mm) e Temperaturas mínimas, médias e máximas (°C), por semana, durante o período de condução do experimento, Sinop/MT.



**Fonte:** Elaboração dos autores (2017).

Realizou-se coleta de solo seis meses antes da semeadura da soja com auxílio de um trado holandês na camada de 0,0 a 20,0 cm de profundidade e posterior análise química do solo no Laboratório de Solos da UFMT *Campus Sinop*. A análise química do solo apresentou os seguintes resultados: pH(CaCl<sub>2</sub>): 5,1; M.O.: 18,55 g dm<sup>-3</sup>; P (Melich): 6,07 mg dm<sup>-3</sup>; K: 52,00 mg dm<sup>-3</sup>; Ca: 2,84 mg dm<sup>-3</sup>; Mg: 0,93 mg dm<sup>-3</sup>; S: 0,40 mg dm<sup>-3</sup>; Al: 0,0 cmol dm<sup>-3</sup>; H: 2,92 cmol dm<sup>-3</sup>; CTC pH 7,0: 6,82 cmol dm<sup>-3</sup>; V(%): 57,2 %; relação Ca/Mg: 3,05; Ca/K: 21,85; Mg/K: 7,16.

Os valores de micronutrientes em  $\text{mg dm}^{-3}$  foram: Zn: 5,51; Cu: 0,44; Fe: 199,16; Mn: 11,25; B: 0,15. A análise física do solo apresentou os valores: Areia: 497,0; Silte: 125,0; Argila: 378,0, em  $\text{g dm}^{-3}$ . Com o resultado da análise de solo, observou-se que a saturação de bases está de acordo com a exigência da soja, não sendo necessária a calagem. O solo do local do experimento é classificado como Latossolo Vermelho Amarelo distrófico (LVAd) (Santos et al., 2013).

A cultivar de soja semeada anteriormente à semeadura do milho foi a BÔNUS, com tratamento industrial de sementes da Basf® na densidade de 15 sementes por metro, visando obter uma população média de 260 mil plantas  $\text{ha}^{-1}$ . Foi realizada adubação com 500,0  $\text{kg ha}^{-1}$  de 00-18-18 (N-P-K), conforme manejo do produtor, fornecendo fósforo e potássio com a expectativa de bom rendimento à soja (SOUZA; LOBATO, 2004). A cultura foi inoculada com inoculante líquido (*Azospirillum*) e inoculante turfoso (*Bradyrhizobium*) e foram realizadas 3 aplicações de fungicida e 3 aplicações de inseticida durante os estádios de desenvolvimento da cultura de acordo com a necessidade e o manejo do produtor.

Antes da semeadura do milho segunda safra, realizou-se a dessecação das plantas daninhas, com aplicação de 1,5  $\text{kg ha}^{-1}$  de Round-up WG® (granulado), com o ingrediente ativo glifosate e em pós emergência, aos 30 DAE, foi aplicado mais 1,5  $\text{kg ha}^{-1}$  de Round-up WG® (granulado) ingrediente ativo glifosate, com volume de calda de 400,0  $\text{L ha}^{-1}$  com auxílio de um pulverizador de barras tratorizado de arrasto.

Em 26 de janeiro de 2018, foi semeado o híbrido simples de milho DKB 390Y, em espaçamento 0,5 m entrelinhas e com estande final de 60.000 plantas  $\text{ha}^{-1}$ . As sementes do híbrido receberam tratamento químico industrial da Basf®. Na adubação de semeadura, utilizou-se da dose de 40,0  $\text{kg ha}^{-1}$  de N; 98,4  $\text{kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  e 52,5  $\text{kg ha}^{-1}$   $\text{K}_2\text{O}$  de acordo com a expectativa de bom rendimento da cultura do milho. A aplicação de nitrogênio em cobertura foi a lanço manualmente e a fonte utilizada foi a ureia (45,0% N), na dose de 30,0  $\text{kg ha}^{-1}$  (SOUZA; LOBATO, 2004).

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em arranjo fatorial 3 x 5, com 4 repetições, totalizando 60 parcelas. Com três níveis, o inoculante comercial (Ab-V5 e Ab-V6 de *Azospirillum brasilense* –  $10^8$  UFC  $\text{mL}^{-1}$ ) foi aplicado de três diferentes modos: pulverização foliar, aplicação foliar com gelatina bovina e com auxílio de um rolo de tinta (Rapid Roller Bdpr400-la Black & Decker®) tamanho 23,0 cm, material (lã carneiro), 9,0 mm de aplicação no solo na entrelinha do milho. As testemunhas foram submetidas às doses 0,0  $\text{mL ha}^{-1}$  de inoculante *Azospirillum* para cada modo de aplicação, com aplicação com bomba costal de  $\text{CO}_2$  para os modos pulverização foliar e aplicação foliar com gelatina bovina. Para cada modo de aplicação foram utilizadas cinco diferentes doses de inoculante: 0, 100, 200, 400 e 800  $\text{mL ha}^{-1}$ . As aplicações dos tratamentos foram realizadas em estágio de desenvolvimento V4 (quatro folhas expandidas), no período em que a cultura começa um rápido acúmulo de matéria seca e, conseqüentemente, de nutrientes na planta do milho (RITCHIE et al., 2003). As parcelas experimentais foram constituídas de 4 linhas de cultivo com 5,0 m de comprimento e 0,5 m de espaçamento entrelinhas. Foram consideradas área útil da parcela para amostras as duas linhas centrais e 4,0 m de comprimento bordadura, com descarte de 0,5 m em cada extremidade das parcelas e duas linhas laterais.

Avaliaram-se as características clorofila, altura de plantas e diâmetro de colmos no estágio de pleno florescimento (R2) em seis plantas ao acaso de cada parcela útil, aproximadamente aos 60 dias após a germinação do milho. O teor de clorofila total foi determinado na folha superior oposta à espiga principal com o auxílio de um clorofilômetro da marca ClorofiLoG® (modelo CFL-1030) da empresa Falker®, que estima o teor de clorofila de forma indireta, por meio de unidades SPAD

(Soil Plant Analysis Development) (FIORINI et al., 2019). Esses equipamentos, segundo Argenta et al. (2001), estimam com boa precisão o teor de clorofila nas folhas, sendo eficiente parâmetro para o monitoramento do nível de nitrogênio. As leituras efetuadas pelo clorofilômetro indicam valores proporcionais de clorofila na folha e são calculadas com base na quantidade de luz transmitida e absorvida por meio da folha em dois comprimentos de ondas com distintas absorbâncias de clorofila. A altura de plantas foi obtida, ainda em campo, com auxílio de uma trena, medindo as seis plantas do solo até a última folha expandida do milho (folha bandeira). O diâmetro de colmo foi obtido com paquímetro digital rente ao solo no primeiro entrenó visível acima do solo (FIORINI et al., 2019).

As características do rendimento do milho foram avaliadas após a colheita das espigas, a qual foi realizada manualmente no dia 15 de julho de 2018, aos 150 dias após a germinação da cultura. Na colheita os grãos estavam com aproximadamente 240,0 g kg<sup>-1</sup> de água, e as parcelas foram acondicionadas em sacos plásticos contendo as respectivas marcações e levadas para o *Campus Sinop* da UFMT Sinop com posterior secagem a pleno sol até atingir a umidade padrão de 130,0 g kg<sup>-1</sup> de água no determinador de umidade de grãos. Foram analisadas em cada parcela 6 espigas representativas das quais avaliaram-se as características componentes da produtividade, tais como: número de fileiras de grãos, número de grãos por fileira, comprimento de espigas, diâmetro de espigas e peso de mil grãos. O número de fileiras de grãos e o número de grãos por fileira foram obtidos mediante contagem. O comprimento de espigas e o diâmetro de espigas foram medidos com fita métrica. Posteriormente as parcelas foram debulhadas com o auxílio de um debulhador manual com posterior contagem da massa de mil grãos, em que o peso foi medido em balança de precisão marca Fillizola® e a produtividade de grãos foi quantificada por meio do peso dos grãos de cada parcela da área útil da parcela, sendo calculados em kg ha<sup>-1</sup>.

Foram realizados os testes de aditividade do modelo, normalidade dos erros e homogeneidade das variâncias. Não havendo restrições às pressuposições da análise da variância, os dados foram submetidos à análise de variância (ANAVA), ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F, com auxílio do programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011). Para as variáveis qualitativas as médias foram comparadas pelo teste Scott Knott a 5% de probabilidade. Para as variáveis quantitativas, os modelos foram escolhidos baseados na significância dos coeficientes de regressão utilizando o teste “t”, adotando-se o nível de 5% de probabilidade de determinação, o valor do r<sup>2</sup> (SQRegressão/SQTotal).

## Resultados e discussão

Durante o ciclo da cultura em campo a disponibilidade hídrica foi ideal para o desenvolvimento do híbrido simples de milho, houve excelentes condições de se expressar sua produtividade, sem ocorrer interferência de estresse hídrico (FIGURA 1). As temperaturas durante o período de condução do experimento oscilaram entre 19,0 °C e 35,0 °C com média ao longo do período de 22,84 °C e a precipitação pluvial na média mensal atingiram os valores acumulados de 395,0 mm em fevereiro, 180,0 mm em março e 62,0 mm em abril, ou seja, não foram limitantes ao crescimento, desenvolvimento e produtividade da cultura do milho segunda safra (FIGURA 1). Para Albuquerque et al. (2010), um híbrido de ciclo médio, com objetivo de produção de grãos, consome de 380,0 a 550,0 mm de água em seu ciclo. Segundo Sangoi et al. (2007), a semeadura do milho segunda safra é extremamente dependente das variações da temperatura, da radiação solar e principalmente da precipitação, uma vez que o milho segunda safra é semeado no final do verão, quando fica mais suscetível às limitações climáticas.

As características avaliadas em pleno florescimento do milho estágio R2, como teor de clorofila total, altura de plantas e diâmetro de colmos não foram influenciadas pelos diferentes modos de aplicação do *Azospirillum* (TABELA 1).

**Tabela 1** – Médias das variáveis analisadas em pleno florescimento estágio R2: teor de clorofila total (CLO), altura de plantas (ALT) e diâmetro de colmos (DC) na cultura do milho segunda safra em função dos modos de aplicação. UFMT. Safra 2017/2018, Sinop/MT.

Modos de aplicação:	Variáveis analisadas		
	CLO (unidades SPAD)	AP (m)	DC (mm)
Foliar	55,74 a	2,38 a	22,03 a
Gel. Bovina	55,64 a	2,36 a	22,14 a
Rolo	54,99 a	2,34 a	21,28 a
C.V.(%)	4,57	2,87	4,35
Média Geral	55,46	2,36	21,82

\*As médias seguidas das mesmas letras não diferem entre si no nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott.

**Fonte:** Elaboração dos autores (2017).

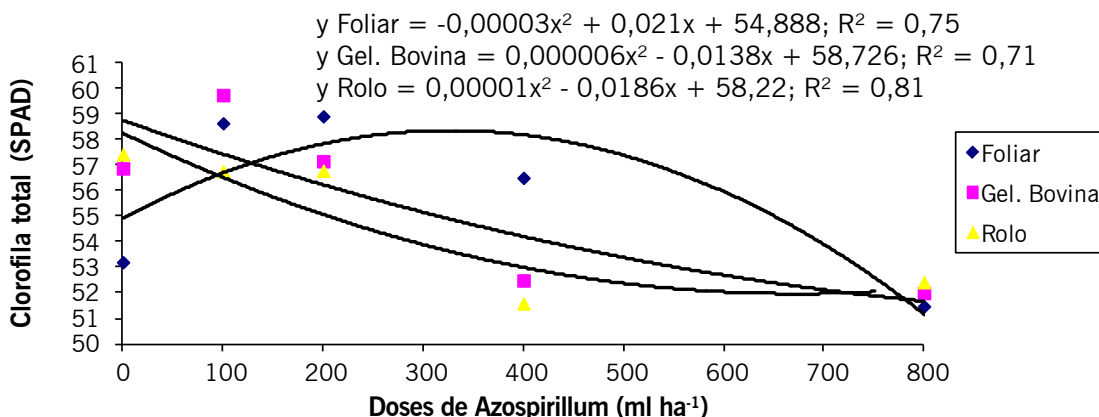
O valor médio das leituras indiretas de clorofila total no estágio de florescimento obtidos neste estudo para os modos de aplicação foi de 55,46 unidades SPAD e são semelhantes aos obtidos por outros autores no estágio de florescimento R2 da cultura do milho com médias por volta de 55 unidades SPAD (ARGENTA et al., 2001; AMARAL FILHO et al., 2005; CADORE et al., 2016; FIORINI et al., 2017; FIORINI et al., 2019).

Para a variável altura de plantas, não houve efeito significativo para os tratamentos testados, sendo que os valores obtidos variaram de 2,34 m a 2,38 m. O mesmo fato ocorreu para o diâmetro do colmo, em que os valores variaram de 21,28 a 22,14 mm, sem diferenças estatísticas entre os tratamentos com adubação residual da soja no milho. Esses valores são semelhantes aos obtidos por CADORE et al. (2016) para o mesmo híbrido de milho com ausência de resposta quanto à altura de plantas e diâmetro de colmos em função de doses de N em cobertura e aplicação de inoculação com *Azospirillum*, corroborando o trabalho de Valderrama et al. (2011), que avaliaram aplicação de 0, 40, 80 e 120 kg ha<sup>-1</sup> de N na forma de ureia para o mesmo híbrido de milho e não observaram diferença nessa variável. Provavelmente, o residual da adubação da soja com a aplicação dos tratamentos com 10,0 kg ha<sup>-1</sup> de N não foi suficiente para obter respostas nas características vegetativas do crescimento do milho e nos teores de clorofila total.

O teor de clorofila total ainda variou de acordo com os modos de aplicação, para os quais houve interações entre os modos de aplicação e as doses de bioestimulante com os maiores valores observados para os modos de aplicação na dose 100,0 mL ha<sup>-1</sup> de bioestimulante. Para o modo de aplicação foliar a equação quadrática foi a de melhor ajuste dos dados com o ponto de máximo valor estimado para a dose 350,0 mL ha<sup>-1</sup>. Para os modos de aplicação foliar com gelatina bovina e aplicação via rolo na entrelinha do milho, à medida que se aumentou a dose de bioestimulante, segundo as equações de regressão quadráticas, houve reduções nos teores de clorofila com os pontos de mínimos valores estimados pelas equações de 1150,0 e 930,0 mL ha<sup>-1</sup> (Figura 2).



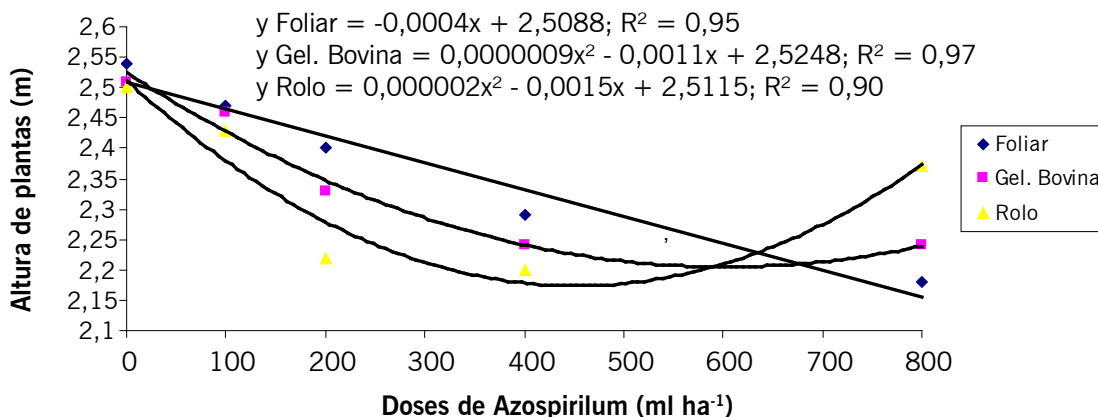
**Figura 2** – Clorofila total em função dos modos de aplicação e doses de inoculante em condições de segunda safra de milho no ano agrícola 2017/2018. Sinop/MT.



Fonte: Elaboração dos autores (2017).

A altura de plantas variou de acordo com o modo de aplicação. Houve interações entre os modos de aplicação e as doses de bioestimulante com os maiores valores observados para a testemunha sem bioestimulante. Para o modo de aplicação foliar houve redução linear de acordo com as doses de bioestimulante. O modelo quadrático foi o de melhor ajuste para os modos de aplicação foliar com gelatina bovina e via rolo na entrelinha do milho com os pontos de mínimos valores estimados pelas equações para as doses 611,0 e 375,0 mL ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Figura 3).

**Figura 3** – Altura de plantas (m) em função dos modos de aplicação e doses de inoculante em condições de segunda safra de milho no ano agrícola 2017/2018. Sinop/MT.

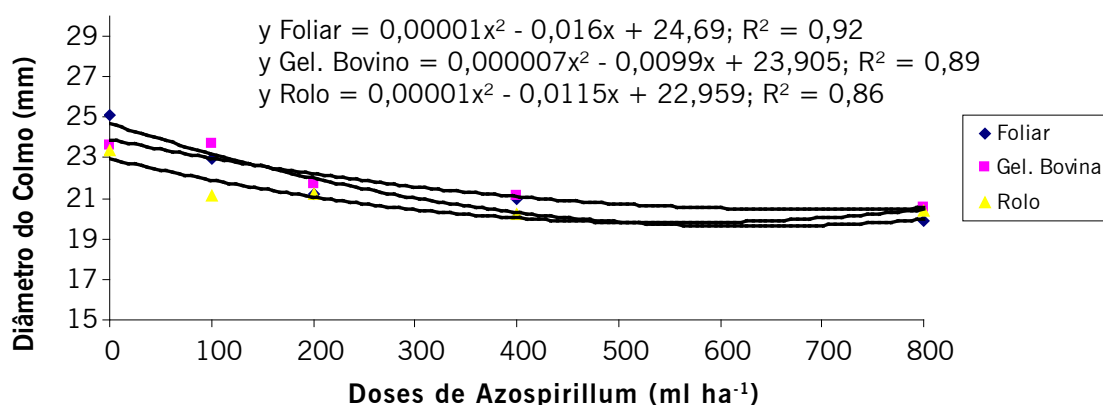


Fonte: Elaboração dos autores (2017).

Para o diâmetro do colmo houve reduções de acordo com o aumento das doses, em que a testemunha sem aplicação de bioestimulante apresentou os maiores valores para essa variável. O modelo quadrático foi o de melhor ajuste para os modos de aplicação foliar, foliar com gelatina bovina e via rolo na entrelinha do milho com os pontos de mínimos valores estimados pelas equações para as doses 800,0, 707,14 e 575,0 mL ha<sup>-1</sup>, respectivamente (FIGURA 4). O diâmetro de colmo, assim como a altura de plantas foram de maiores valores nas testemunhas sem a aplicação de bioestimulante com diferenças de baixa magnitude em relação às outras doses nos modos de aplicação, entretanto, não houve prejuízos à produtividade do milho segunda safra.



**Figura 4** – Diâmetro do colmo (mm) em função dos modos de aplicação e doses de inoculante em condições de segunda safra de milho no ano agrícola 2017/2018. Sinop/MT.



Fonte: Elaboração dos autores (2017).

A aplicação dos tratamentos dos modos de aplicação de *Azospirillum* não influenciou estatisticamente as características componentes do rendimento do milho: número de fileiras de grãos, número de grãos por fileira, comprimento de espigas, diâmetro de espigas, peso de mil grãos, exceto para a produtividade de grãos em que o modo via rolo de aplicação na entrelinha da cultura foi inferior estatisticamente aos demais modos de aplicação (Tabela 2).

**Tabela 2** – Médias das variáveis analisadas na colheita no período de maturidade fisiológica: número de fileiras de grãos (NFG), número de grãos por fileira (NGF), comprimento de espigas (CE), diâmetro de espigas (DE), peso de mil grãos (PMG) e produtividade de grãos (PROD), na cultura do milho segunda safra em função dos modos de aplicação. UFMT. Safra 2017/2018, Sinop/MT.

Modos de aplicação:	Variáveis analisadas					
	NFG	NGF	CE (cm)	DE (cm)	PMG (g)	PROD (kg ha <sup>-1</sup> )
Foliar	16,95 a	34,40 a	17,20 a	5,40 a	325,99 a	6892,00 a
Gel. Bovina	17,05 a	33,95 a	16,75 a	5,35 a	320,16 a	6781,00 a
Rolo	17,10 a	34,15 a	17,03 a	5,35 a	317,58 a	6272,50 b
C.V.(%)	7,15	6,02	5,90	9,29	3,55	9,14
Média Geral	17,03	34,16	16,99	5,16	321,24	6648,50

\*As médias seguidas das mesmas letras não diferem entre si no nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Scott-Knott.

Fonte: Elaboração dos autores (2017).

Para o número de fileiras de grãos (NFG), não houve efeito significativo para os modos de aplicação do *Azospirillum* testados, sendo que os valores médios obtidos variaram de 16,95 a 17,10 fileiras de grãos na espiga do milho. O mesmo fato ocorreu para o número de grãos por fileira (NGF), em que os valores variaram de 33,95 a 34,40 grãos por fileira, sem diferenças estatísticas entre os modos de aplicação do *Azospirillum* no milho. Biscaro et al. (2011) também não observaram diferença para número de fileiras avaliando doses de N para milho safrinha. Resultados obtidos por Cadore et al. 2016, em que as doses de nitrogênio em cobertura geraram incrementos significativos em relação à não aplicação de N, porém não houve diferença significativa no número de grãos por fileira corroborando os resultados obtidos no presente trabalho.

Estudo realizado por Kappes (2009) mostrou que não houve diferença entre os tratamentos para a variável NFG, por ser uma característica genética comandada por vários genes e pouco influenciada por fatores edafo-climáticos e de manejo. Ohland et al. (2005), avaliando o manejo da adubação nitrogenada no milho em sistema plantio direto, não verificaram diferença para o diâmetro e o comprimento de espiga. Gomes et al. (2007) também não verificaram efeito sobre a massa de mil grãos com o aumento das doses de N aplicada na cultura.

Entre os nutrientes exigidos pela cultura do milho, o nitrogênio (N) é o que mais limita o seu crescimento, além de ser requerido em maior quantidade. O N é constituinte de proteínas, de ácidos nucleicos e de demais constituintes celulares, como também de membranas e de vários hormônios vegetais. Dessa forma, sua deficiência pode causar clorose generalizada das folhas mais velhas e diminuição no crescimento da planta. A absorção mais comum pelo milho é na forma de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), devido ao processo de nitrificação do N que ocorre no solo. Segundo Malavolta (2006), o N é um elemento envolvido na síntese de clorofilas e compostos proteicos, apresentando potencial para aumentar a capacidade das plantas em produzir gemas reprodutivas. No presente trabalho, a baixa dose de N aplicada nos diferentes estádios da soja  $10,0 \text{ kg ha}^{-1}$  de N não foi suficiente para gerar incrementos nas características NGF e NFG em relação à testemunha sem N.

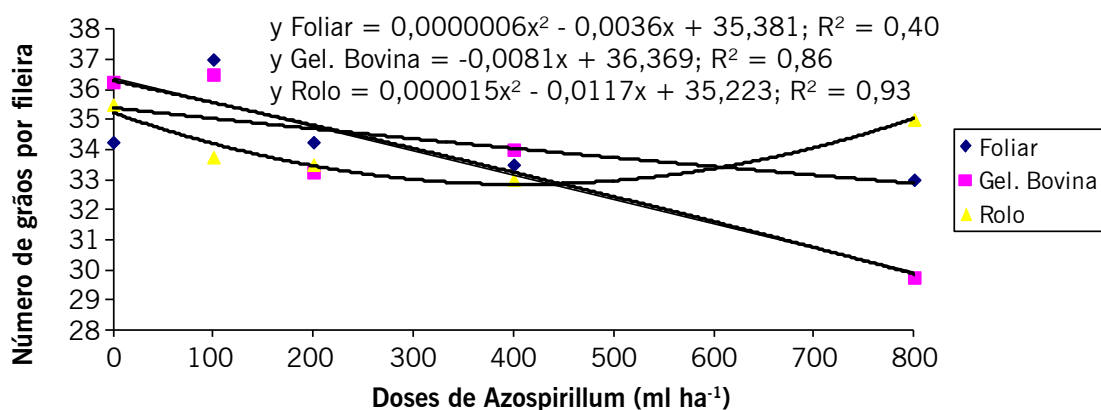
Para o comprimento de espigas (CE), não houve efeito significativo para os modos de aplicação do *Azospirillum* testados, sendo que os valores médios obtidos variaram de 16,75 a 17,20 cm na espiga do milho. O diâmetro de espigas variou de 5,35 a 5,40 cm sem diferenças estatísticas entre os modos de aplicação do *Azospirillum* no milho segunda safra. O mesmo fato ocorreu para o número de grãos por fileira (NGF), para os quais os valores variaram de 5,35 a 5,40 cm na espiga, sem diferenças estatísticas entre os modos de aplicação do *Azospirillum* no milho. Para a variável peso de mil grãos (PMG), verificou-se que a aplicação de N em diferentes modos da aplicação, variou de 317,58 a 325,99 gramas os modos de aplicação na cultura do milho segunda safra e não diferiram estatisticamente. A maioria dos trabalhos envolvidos com doses de nitrogênio associadas ou não à inoculação com *Azospirillum* não encontrou diferenças para essas características componentes da produtividade do milho (Ohland et al., 2005; Gomes et al., 2007; Barros Neto et al., 2008; Kappes et al., 2009; Vorpapel et al., 2010; Biscaro et al., 2011; Valderrama et al., 2011; PORTUGUAL et al., 2012; DARTORA et al., 2013; CUNHA et al., 2014; QUADROS et al., 2014; CICILIATO et al., 2015; CADORE et al., 2016; MUMBACH, 2017).

Quanto à produtividade de grãos, a aplicação via foliar com ou sem gelatina bovina ( $6892,0$  e  $6781,0 \text{ kg ha}^{-1}$ ) no milho da bactéria *A. brasilense* proporcionou maior produtividade de grãos que variou em relação ao modo de aplicação via rolo na entrelinha do milho ( $6272,50 \text{ kg ha}^{-1}$ ). Portugal et al. (2012) encontraram que a produtividade do milho com a utilização da bactéria *A. brasilense* foi incrementada em  $868,0 \text{ kg ha}^{-1}$ , ou seja, aumento de 14,75%. Provavelmente, a inoculação via foliar do *A. brasilense* proporcionou maior produtividade devido à fixação biológica de N, indicada pelo aumento no teor de N foliar, também pela promoção do maior crescimento do sistema radicular, fazendo com que as raízes explorassem maior volume de solo, aumentando a absorção de nutrientes e de água. Os dados obtidos concordam com os de Barros Neto (2008), que utilizando *A. brasilense* em um experimento com milho, obteve aumento no rendimento de grãos de  $9.021,0$  para  $9.814,0 \text{ kg ha}^{-1}$ , ou seja, produtividade média estatisticamente 9,0% superior à testemunha não inoculada. A cultura antecessora do presente trabalho foi a soja, uma leguminosa eficiente na fixação biológica de nitrogênio, que permite a disponibilidade de um residual de N no solo, isso pode ter aumentado a eficiência do *Azospirillum* e aumentado a disponibilidade de N de acordo com as doses aplicadas em cobertura refletindo em diferenças significativas na produtividade.

Os altos valores na produtividade da segunda safra de milho podem ainda ser explicados pela elevada capacidade do solo em fornecer N para as plantas devido ao residual de N deixado pela cultura antecessora da soja, bem como pelas adequadas condições climáticas durante o ciclo da cultura, principalmente boa precipitação durante o período crítico da produtividade de grãos (enchimento de grãos), condições de fertilidade do solo que possuía bons níveis de nutrientes e a adubação de plantio e cobertura do milho. De acordo com Ritchie et al. (2003), no momento da definição do número de óvulos e do tamanho da espiga (estádio V12), as deficiências de umidade e nutrientes podem reduzir seriamente o número potencial de sementes e o tamanho das espigas colhidas, o que pode explicar os menores comprimentos de espigas e as menores produtividades do milho segunda safra em relação ao milho da primeira safra.

O número de grãos por fileiras da espiga de milho variou de acordo com os modos de aplicação, houve interações entre os modos de aplicação e as doses de bioestimulante com os maiores valores observados para os modos de aplicação na dose 100 ml ha<sup>-1</sup>, exceto para o modo de aplicação via rolo na entrelinha do milho em que a testemunha obteve o maior valor. Para os modos de aplicação foliar com gelatina bovina e rolo de aplicação na entrelinha à medida que se aumentou a dose de bioestimulante, houve redução linear segundo a equação de regressão. Para o modo de aplicação foliar, a equação quadrática foi a de melhor ajuste dos dados com o ponto de mínimo valor calculado para a dose 400,0 mL ha<sup>-1</sup> (Figura 5).

**Figura 5** – Número de grãos por fileira em função dos modos de aplicação e doses de inoculante em condições de segunda safra de milho no ano agrícola 2017/2018, Sinop-/MT.

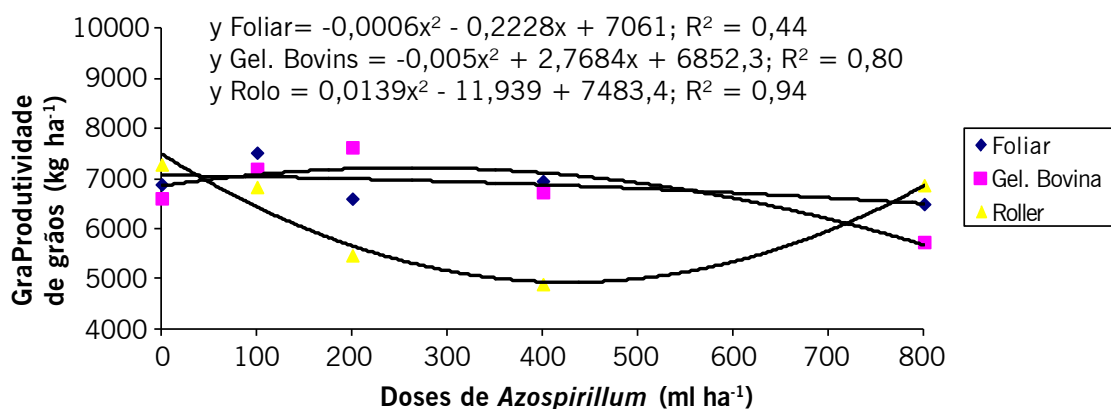


**Fonte:** Elaboração dos autores (2017).

Para o número de fileiras de grãos da espiga, comprimento de espigas, diâmetro de espigas e massa de mil grãos não foram obtidas diferenças estatísticas significativas entre os modos de aplicação, as doses e também não apresentaram interação entre os fatores estudados.

A produtividade de grãos variou de acordo com o modo de aplicação e houve interações entre os modos de aplicação e as doses de bioestimulante. O modelo quadrático foi o de melhor ajuste para os modos de aplicação foliar, foliar com gelatina bovina e via rolo na entrelinha do milho. Os pontos de máximos valores para os modos de aplicação foliar e foliar com gelatina bovina foram para as doses 185,0 e 261,0 mL ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Para o modo via rolo de aplicação na entrelinha do milho, o ponto de mínimo foi de 429,0 mL ha<sup>-1</sup> (Figura 6).

**Figura 6** – Produtividade de grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) em função dos modos de aplicação e doses de inoculante em condições de segunda safra de milho no ano agrícola 2017/2018. Sinop/MT.



**Fonte:** Elaboração dos autores (2017).

A produtividade de grãos foi maior quando houve a utilização da bactéria nas doses  $100 \text{ mL ha}^{-1}$ ,  $200 \text{ mL ha}^{-1}$  para os modos via foliar e foliar com gelatina bovina, respectivamente. A inoculação com *Azospirillum* gerou incrementos nas variáveis analisadas. Para o modo de aplicação via rolo na entrelinha do milho, a testemunha sem a aplicação do bioestimulante proporcionou a maior produtividade de grãos com posterior redução até a dose  $400 \text{ mL ha}^{-1}$ . Os tratamentos se diferiram estatisticamente e os ganhos na produtividade usando inoculação foliar com  $100 \text{ mL ha}^{-1}$  acarretaram acréscimo de  $632,5 \text{ kg ha}^{-1}$ , que corresponde a  $10,54 \text{ sacas ha}^{-1}$ . A aplicação usando gelatina bovina, o ganho em produtividade alcançou  $1.017,5 \text{ kg ha}^{-1}$  ou  $16,95 \text{ saca ha}^{-1}$ . A inoculação via foliar de *Azospirillum* pode ser uma opção para o produtor que não pode realizá-la via semente.

Vorpagel et al. (2010) em seu trabalho obtiveram ganhos na produtividade na ordem de  $227,0 \text{ kg ha}^{-1}$ , no entanto não apresentou diferença estatística quando comparada aos demais tratamentos. Eles também afirmam no trabalho que o uso de *Azospirillum*, associado ou não ao bioestimulante, não apontou diferença estatisticamente significativa para nenhum dos caracteres de rendimento avaliados quando comparados à testemunha. Segundo Reis et al. (2007), tem-se verificado uma grande variabilidade nos resultados nas mais diversas culturas testadas, sendo que o incremento no rendimento se situa em torno de  $20,0$  a  $30,0\%$ . Portugal et al. (2012) observaram incremento de  $14,7\%$  na produtividade de milho, quando este recebeu aplicação foliar de *Azospirillum* em V6.

Vários trabalhos demonstram que o milho é dependente da adubação nitrogenada, independentemente de haver ou não a inoculação de bactérias fixadoras de nitrogênio. No entanto, autores como Mumbach et al. (2017) afirmam que a inoculação pode contribuir com até  $40,0\%$  do nitrogênio necessário para o desenvolvimento da cultura. Segundo Hungria (2011), o nitrogênio fixado pela bactéria varia de  $30,0$  a  $50,0 \text{ kg por hectare ano}^{-1}$ .

## Conclusões

As doses de aplicação da inoculação de *Azospirillum* não promoveram incrementos no teor de clorofila, altura de planta, diâmetro de colmos, número de fileiras de grãos, número de grãos por fileira, comprimento de espigas, diâmetro de espigas, peso de mil sementes, exceto para a produtividade de grãos.

A aplicação de *Azospirillum* apresentou interação entre doses com os modos de aplicação para a clorofila, altura de plantas, diâmetro de colmos, grãos por fileira e produtividade de grãos, destacando os modos aplicação foliar e foliar com gelatina bovina.

A aplicação foliar de *Azospirillum* com a dose de 100 mL ha<sup>-1</sup> apresentou incremento na produtividade de grãos, em relação à testemunha e aos demais tratamentos, independentemente da redução dos teores de clorofila, diâmetro de colmos e grãos por fileira.

A dose de inoculante de 100 mL ha<sup>-1</sup>, dose indicada pelo fabricante, é a mais adequada para a cultura visando maior produtividade de grãos.

A aplicação foliar de *Azospirillum* com gelatina bovina na dose de 200 mL ha<sup>-1</sup> apresentou incremento na produtividade, em relação à testemunha e aos demais tratamentos, independentemente da redução dos teores de clorofila, diâmetro de colmos e grãos por fileira.

## Methods of application and doses of inoculation with *Azospirillum* in agronomic performance of off-season corn crop

### Abstract

In order to achieve high yields for off-season corn crop sown after soybean harvest, high doses of nitrogen fertilizers are required. Biological nitrogen fixation helps reduce the use of nitrogen fertilizers through the inoculation of nitrogen-fixing associative bacteria, such as those of the genus *Azospirillum*. This study aimed to evaluate the agronomic performance of corn hybrid DKB390Y in response to different application methods, such as using inoculant and doses of inoculant with *Azospirillum brasilense*. The experiment was conducted in a property adjacent to Federal University of Mato Grosso (Sinop campus), between February and July 2018. The experimental design included randomized blocks in a 3×5 factorial arrangement, replicated four times (with three application methods: foliar spraying; spraying foliar with bovine gelatin; and with a paint roller (Black & Decker Rapid Roller BDPR400-wool®) and five doses of inoculant: 0, 100, 200, 400 and 800 mL ha<sup>-1</sup>). No significant differences were obtained through the application methods in the rates of chlorophyll, plant height, stem diameter, number of rows of grains, number of grains per row, ear length, ear diameter and weight of one thousand grains, except for grain yield. Grain yield was found to be superior with foliar inoculation at 100 mL ha<sup>-1</sup> method foliar spray, and 200 mL ha<sup>-1</sup> at method foliar application with bovine gelatin.

**Keywords:** *Zea mays* L. Biostimulant. Chlorophyll. Foliar application. Roller application.

### Referências

ALBUQUERQUE, P. E. P.; RESENDE, M. **Cultivo do milho: manejo de irrigação**. 2010. Disponível em: <[https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPMS/15603/1/Com\\_47.pdf](https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPMS/15603/1/Com_47.pdf)>. Acesso em: 17 nov. 2019.

Amaral Filho, J. P. R.; Fornasieri Filho, D.; Farinelli, R.; Barbosa, J. C. Espaçamento, densidade populacional e adubação nitrogenada na cultura do milho. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n.1, p. 467-473, 2005.

ARAÚJO, E. O.; MERCANTE, F. M.; VITORINO, A. C. T.; NUNES, D. P.; PAIM, L. R.; MENDES, D. A. E. Estado nutricional do milho em resposta à aplicação de nitrogênio e à inoculação com *Azospirillum brasilense* e *Herbaspirillum seropedicae*. In: XII Seminário Nacional Milho Safrinha, Dourados/MS, novembro, 2013.

ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F.; BORTOLINI, C. G.; FORSTHOFER, E. L.; STRIEDER, M. L. Relação da leitura do clorofilômetro com os teores de clorofila extraível e de nitrogênio na folha de milho. **Revista Brasileira Fisiologia Vegetal**, Viçosa, v. 13, n. 2, p. 158-167, 2001.

ARSAC, J. F.; LAMOTHE, C.; MULARD, D.; J. FAGES, J. Growth enhancement of maize (*Zea mays* L.) through *Azospirillum lipoferum* inoculation: effect of plant genotype and bacterial concentration. **Agronomie**, Paris, v. 10, p. 640-654, 1990.

BARTCHECHEN, A.; FIORI, C. C. L.; WATANABE, S. H.; GUARIDO, R. C. Efeito da inoculação de *Azospirillum brasilense* na produtividade da cultura do milho (*Zea mays* L.). **Campo Digital**, Campo Mourão, v. 5, n. 1, p. 56-59, 2010.

BATTISTUS, A. G. **Inoculação via semente e foliar de *Azospirillum brasilense* associado a tratamento de semente com bioativador na cultura do milho**. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Estadual d'Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2015.

CADORE, R.; NETTO, A. P. C.; REIS, E. F.; RAGAGNIN, V. A.; FREITAS, D. S.; LIMA, T. P.; ROSSATO, M.; D'ABADIA, A. C. A. Híbridos de milho inoculados com *Azospirillum brasilense* sob diferentes doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v.15, n. 3, p. 398-409, 2016.

CAMPOS, B. C.; HUNGRIA, M.; TEDESCO, V. Eficiência da fixação biológica de n<sub>2</sub> por estirpes de *bradyrhizobium* na soja em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 25, n. 3, p. 583-592, 2001.

CICILIATO, A. L.; CASIMIRO, E. L. N. Inoculante *Azospirillum brasilense* via foliar associado a diferentes fertilizantes foliares na cultura do milho. **Revista Cultivando o Saber**, Cascavel, Ed. Especial, p. 1-10, 2015.

CONAB-COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos: Oitavo levantamento**. Safra 2018/19, v. 6, n. 12. Décimo segundo levantamento, setembro 2019. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>>. Acesso em: 22 abr. 2020.

CORREA, O. S.; ROMERO, A. M.; SORIA, M. A.; ESTRADA, M. de. *Azospirillum brasilense* plant genotype interactions modify tomato response to bacterial diseases, and root and foliar microbial communities. In: CASSÁN, F. D.; GARCIA DE SALAMONE, I. (Ed.) ***Azospirillum sp.*: cell physiology, plant interactions and agronomic research in Argentina**. Buenos Aires: Asociación Argentina de Microbiología, 2008. p. 87-95.

CUNHA, F.; SILVA, N.; BASTOS, F.; CARVALHO, J.; MOURA, L.; TEIXEIRA, M.; ROCHA, A.; SOUCHIE, E. Efeito da *Azospirillum brasilense* na produtividade de milho no sudoeste goiano. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 13, p. 261-272, 2014.

DARTORA, J.; GUIMARÃES, V. F.; MARTINI, D.; SANDER, G. Adubação nitrogenada associada à inoculação com *Azospirillum brasilense* e *herbaspirillum seropedicae* na cultura do milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 10, p.1023-1029, 2013.



Ferreira, D.F. Sisvar: A computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 1, p. 1039-1042, 2011.

Fiorini, I. V. A.; Von Pinho, R. G.; Pereira, H. D.; Pires, L. P. M.; Fiorini, F. V. A. e Resende, E. L. Dry matter accumulation, chlorophyll and sulfur leaf in corn fertilized with different sulfur sources. **Journal Bioenergy and Food Science**, Gurupi, v. 4, n. 1, p. 1-11, 2017.

FIORINI, I. V. A.; PEREIRA, C. S. ; PEREIRA, H. D. ; RESENDE, F. R. ; RESENDE, E. L. ; SILVA, A. A. Avaliação do efeito residual do nitrogênio liberado pelos restos culturais da soja na produtividade do milho segunda safra. **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre, v. 11, p. 168-177, 2019.

HUERGO, L. F.; MONTEIRO, R. A.; BONATTO, A. C.; RIGO, L. U.; STEFFENS, M. B. R.; CRUZ, L. M.; CHUBATSU, L. S.; SOUZA, E. M.; PEDROSA, F. O. Regulation of nitrogen fixation in *Azospirillum brasilense*. In: CASSÁN, F. D.; GARCIA DE SALAMONE, I. ***Azospirillum sp.*: cell physiology, plant interactions and agronomic research in Argentina**. Buenos Aires: Asociación Argentina de Microbiología, p. 17-35. 2008.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; SOUZA, E. M. S.; PEDROSA, F. O. Inoculation with selected strains of *Azospirillum brasilense* and *A. lipoferum* improves yields of maize and wheat in Brazil. **Plant and Soil**, Netherlands, v. 331, n. 1/2, p. 413-425, 2010.

HUNGRIA, M. **Inoculação com *Azospirillum brasilense***: inovação em rendimento a baixo custo. Documento 325: Embrapa Soja, Londrina. 2011. 266 p.

KAPPES, C.; ARF, O.; ARF, M. V.; FERREIRA, J. P.; BEM, E. A. D.; PORTUGUAL, J. R.; VILELA, R. G. Inoculação de sementes com bactérias diazotróficas e aplicação de nitrogênio em cobertura e foliar em milho. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 2 p. 527-538, 2013.

KÖPPEN, W. **Climatologia**: con un estudio de los climas de la Tierra. México: Fondo de Cultura Economica, 1948. 478 p.

MÜLLER, T. M. **Inoculação de *Azospirillum brasilense* associada a níveis crescentes de adubação nitrogenada e o uso de bioestimulante vegetal na cultura do milho**. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual do Centro-Oeste, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal, Guarapuava, p. 48, 2013.

MUMBACH, G. L.; Kotowski, I. E.; Schneider, F. J. A.; Mallmann, M. S.; Bonfada, É. B.; Portela, V. O.; Kaiser, D. R. Resposta da inoculação com *Azospirillum brasilense* nas culturas de trigo e de milho safrinha. **Revista Scientia Agraria**, Curitiba, v. 18, n. 2, p. 97-103, 2017.

NUNES, P. H. M. P.; AQUINO, L. A.; SANTOS, L. P. D.; XAVIER, F. O.; DEZORDI, L. R.; ASSUNÇÃO, N. S. Produtividade do trigo irrigado submetido à aplicação de nitrogênio e à inoculação com *Azospirillum brasilense*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, n. 1, p. 174-182, 2015.

PACENTCHUK, F; BAZZANEZI, N. A; DECZA, H; VIDAL, V; CHIQUITO, R. N; ROYER, R. **Aplicação de *Azospirillum brasilense* com diferentes formas, doses e taxas de aplicação na cultura do milho**. Guarapuava, 2013. (Apresentação de Trabalho)

PEDRINHO, E. A. N.; GALDIANO JÚNIOR, R. F.; CAMPANHARO, J. C.; ALVES, L. M. C.; LEMOS, E. G. M. Identificação e avaliação de rizobactérias isoladas de raízes de milho. **Bragantia**, Campinas, v. 69, p. 905-911, 2010.



PEREIRA, C. S.; LIMA, C.; MEDEIROS, A. L.; ARANTES, S. A. C. M.; ASSIS, R. P.; FIORINI, I. V. A.; CARVALHO, G. News Techniques for the application of herbicides on soybean crops. **Revista Plantas Daninha**, Viçosa, v. 36, p. 1-7, 2018.

PORTUGUAL, J. R.; ARF, O.; LONGUI, W. V.; GITTI, D. C.; BARBIERI, M. K. F.; GONZAGA, A. R.; TEIXEIRA, D. S. Inoculação com *Azospirillum* brasilense via foliar associada a doses de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. **Anais.... XXIX Congresso Nacional de Milho e Sorgo**, Águas de Lindóia, 2012.

QUADROS, P. D.; ROESCH, L. F. W.; SILVA, P. R. F.; VIEIRA, V.; ROERS, D. D.; CAMARGO, F. A. O. Desempenho agrônômico a campo de híbridos de milho inoculados com *Azospirillum*. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 61, n. 2, p. 209-218, 2014.

REIS, V. M. **Uso de bactérias fixadoras de nitrogênio como inoculante para aplicação em gramíneas**. Documentos: Embrapa Agrobiologia, Seropédica, n. 232, 2007, 22 p.

REIS, V. M.; BALDANI, J. I.; BALDANI, V. L.; DÖBEREINER, J. Biological dinitrogen fixation in gramineae and palm trees. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 19, p. 227-247, 2000.

RITCHIE, S. W.; HANWAY, J. J.; BENSON, G. O. **Como a planta de milho se desenvolve**. Informações Agrônômicas. Piracicaba, n. 103, p. 1-20, set. 2003. Encarte. Disponível em: <[http://brasil.ipni.net/ipniweb/region/brasil.nsf/0/DE02520B8765B8D683257AA0003C46A6/\\$FILE/Encarte103.pdf](http://brasil.ipni.net/ipniweb/region/brasil.nsf/0/DE02520B8765B8D683257AA0003C46A6/$FILE/Encarte103.pdf)> Acesso em: 27 nov. 2017.

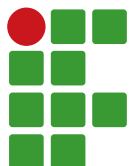
Sangoi, L.; Schmitt, A.; Zanin, C. G. Área foliar e rendimento de grãos de híbridos de milho em diferentes populações de planta. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 6, p. 263-271, 2007.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. de. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 353 p.

VALDERRAMA, M.; BUZETTI, S.; BENETT, C. G. S.; ANDREOTTI, M.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M. Fontes e doses de NPK em milho irrigado sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 2, p. 254-263, 2011.

**Recebido em:** 17 de janeiro de 2020

**Aceito em:** 30 de abril de 2020



# Zoneamento de Risco Agroclimático do Mamoeiro (*Carica Papaya* L.) na Bacia Hidrográfica do Rio Paraná III

Nathan Felipe da Silva Caldana<sup>1</sup>

Pablo Ricardo Nitsche<sup>2</sup>

Luiz Gustavo Batista Ferreira<sup>3</sup>

Alan Carlos Martelócio<sup>4</sup>

Paulo Vicente Contador Zaccheo<sup>5</sup>

Jorge Alberto Martins<sup>6</sup>

## Resumo

O Brasil é o maior produtor e consumidor mundial de mamão. A fruticultura é um segmento de destaque da agricultura brasileira. Apesar dos recentes avanços tecnológicos e científicos, o clima é ainda a variável mais importante na produtividade agrícola. Nesse contexto, o zoneamento agroclimático deve ser uma das primeiras informações a serem consideradas ao iniciar o cultivo de determinada cultura. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi realizar o zoneamento de risco agroclimático para o Mamoeiro (*Carica Papaya* L.) na bacia do Rio Paraná III, estado do Paraná. Para isso, foram utilizados dados meteorológicos de 43 estações com recorte temporal de 1976-2018. A análise do risco agroclimático foi pautada nas exigências da espécie, sendo estas: precipitação, deficiência hídrica anual, temperatura média anual, insolação e risco de geada. A ocorrência de geadas foi o fator mais limitante para a produção na região. Esse fator meteorológico restringiu o plantio na porção centro-leste da bacia. Nas demais áreas, o risco é presente, mas foi garantida a aptidão para o plantio do mamoeiro.

**Palavras-chave:** Aptidão climática. Variabilidade Climática. Planejamento Agrícola.

## Introdução

O clima é a variável que mais interfere no estabelecimento, propagação e adaptação das plantas agrícolas, sejam elas de espécies frutíferas, grãos, anuais ou perenes, além de ser importante na definição das potencialidades e vulnerabilidade das distintas regiões. O Brasil, país predominantemente de clima tropical, é um dos maiores produtores de mamão do mundo. Na colheita da frutífera em 2018, foram registrados cerca de 1 milhão e 600 mil toneladas (IBGE, 2019). O clima da Bacia Hidrográfica do Rio Paraná III é caracterizado por sua variabilidade, de regime hídrico e térmico com variações bem distintas durante o ano (CALDANA et al., 2019). Apesar de ser uma região economicamente

1 Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias. Doutorando em Agronomia. [nathan.caldana@uel.br](mailto:nathan.caldana@uel.br). Rodovia Celso Garcia Cid, PR-445, Km 380 – *Campus* Universitário, PR, 86057-970

2 Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná (IAPAR-EMATER). Doutor em Agronomia. Pesquisador.

3 IAPAR-EMATER. Mestre em Agricultura Conservacionista. [luiz.gustavo@agronomo.eng.br](mailto:luiz.gustavo@agronomo.eng.br).

4 Instituto Cesumar de Ciência, Tecnologia e Inovação (ICETI). Pesquisador bolsista. Mestre em Agricultura. [amartelocio@agronomo.eng.br](mailto:amartelocio@agronomo.eng.br).

5 IAPAR-EMATER. Doutor em Agronomia. Pesquisador. [paulo@idr.pr.gov.br](mailto:paulo@idr.pr.gov.br).

6 Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Discente em Engenharia Ambiental. [jmartins@utfpr.edu.br](mailto:jmartins@utfpr.edu.br).

agrícola e promissora ao cultivo do mamão, em 2018 não houve registros de produção da frutífera na área que abrange a Bacia, enquanto o estado do Paraná no mesmo período produziu 1,6 mil toneladas em 81,0 hectares (IPARDES, 2019).

O mamão (*Carica papaya* L.) é uma fruta popular e saborosa, pertencente à família *Caricaceae*, que se enquadra nas mais importantes frutas tropicais e subtropicais atualmente cultivadas no mundo (AKTARUZZAMAN et al., 2018; CAMPOSTRINI et al., 2018). É uma planta herbácea perene, em que as plantações são renovadas de 2 a 3 anos, sendo o fruto o principal produto de consumo. Para se atingir a qualidade satisfatória, dentre outros fatores, a exigência em água e temperatura se destacam. Para isso, a planta necessita de regime hídrico bem distribuído durante o ano, somados à alta insolação (MATOS et al., 2012; CAMPOSTRINI et al., 2018).

A altitude ideal está em torno dos 200,0 m, com aptidão para produzir em altitudes mais elevadas, onde a temperatura é menor, no entanto, nesse caso a qualidade da fruta seria afetada, uma vez que o mamoeiro paralisa seu desenvolvimento vegetativo, reduz o florescimento, atrasa a maturação e produz frutos de baixa qualidade (CAMPOSTRINI et al., 2018; PRADHAN et al., 2019; SALINAS, 2019).

Conforme reportado por Kist e Manica (1995), quanto mais distantes do ideal climático forem os cultivos, maior será a duração do ciclo da cultura, com redução de crescimento e alterações na qualidade dos frutos. Portanto, para se atingir a qualidade e produtividade e reduzir os riscos, a aplicabilidade de estudos dos elementos agrometeorológicos vem sendo estudada em escala planetária, abrindo campo para melhorar o manejo, a tomada de decisão, o planejamento agrícola e o cultivo do mamoeiro em zonas ainda inexploradas (MIGLIACCIO et al., 2010; VIVAS et al., 2015; PAN et al., 2017; TREVISAN, 2017; MAURYA et al., 2019; RODRIGUES et al., 2019; SALINAS et al., 2019; SILVERIO et al., 2019; URTASUN et al., 2020).

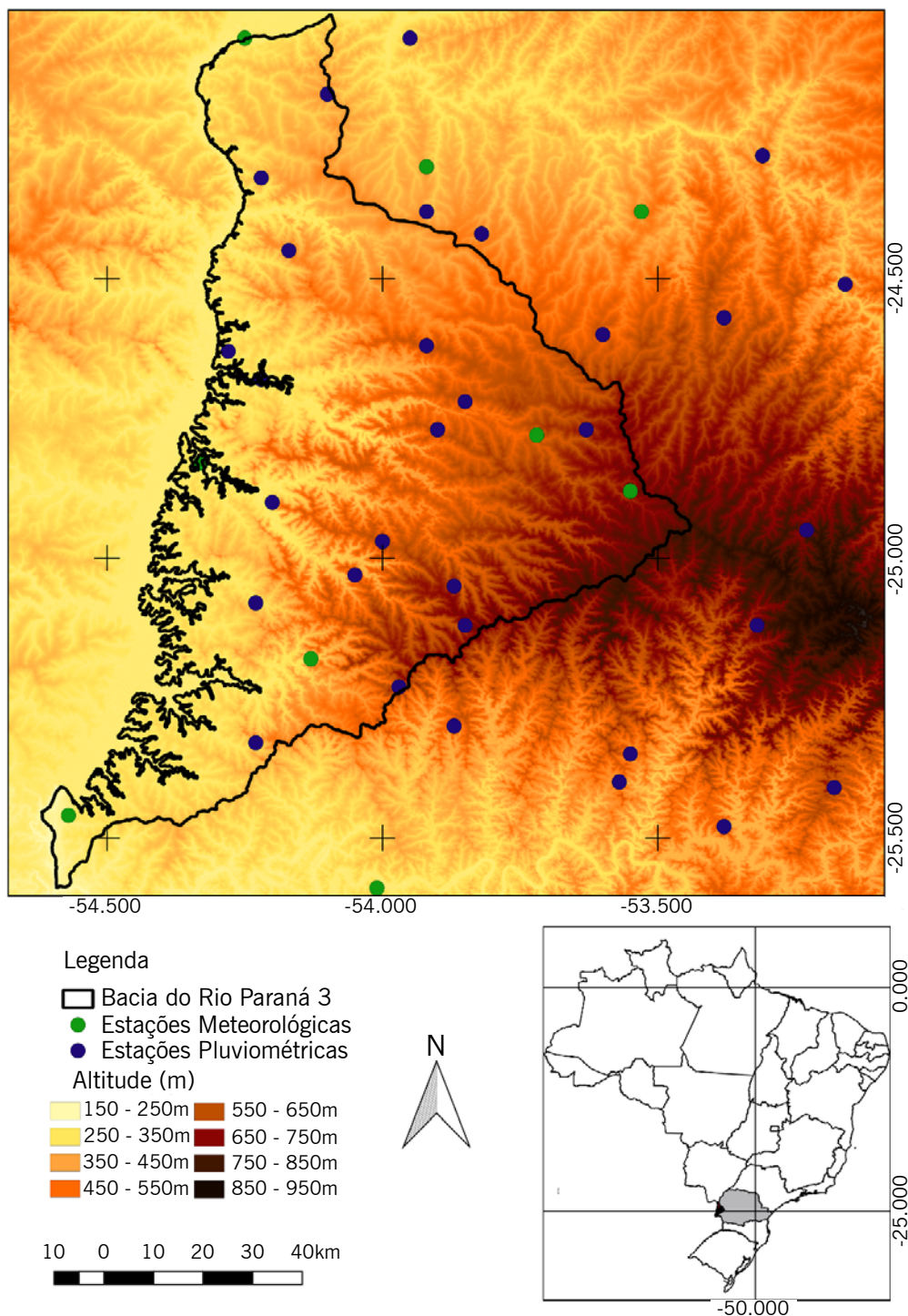
Neste sentido e considerando a inexpressividade do mamoeiro na área de estudo, o objetivo do trabalho foi realizar o zoneamento agrícola de risco climático para o mamoeiro na Bacia Hidrográfica do Rio Paraná III. Para isso, foram levantadas as exigências hidroclimáticas da espécie e os dados meteorológicos de séries temporais anual, sazonal, mensal e diária com o recorte temporal de 1976 a 2018 para conhecimento do clima local.

## Material e métodos

### Variabilidade climática

A região possui relevo (Figura 1) inclinado no sentido Oeste-Leste, com variação de 180 m a 800 m, o que propicia grande variabilidade climática e diversidade nas espécies que podem ser produzidas na região. O clima “Cfa” (subtropical, sem estação seca e verão quente) predomina em boa parte da região, abrangendo toda a porção oeste, sul, norte e centro da bacia. O clima “Cfb” (subtropical, sem estação seca e verão fresco) predomina na área leste da região, com altitudes superiores a 700 m (Figura 1), conforme a classificação climática de Köppen, de 1936 (NITSCHKE et al., 2019).

**Figura 1** – Hipsometria e localização das estações meteorológicas utilizadas.



**Fonte:** Organizado pelos autores (2020).

Para analisar a variabilidade climática e realizar o zoneamento de risco climático, foram levantados dados de estações meteorológicas e pluviométricas distribuídas na área da bacia e em suas proximidades. Esta base de dados compreende 6 estações meteorológicas do Instituto Agrônomo do Paraná – IAPAR (1976-2018), 10 estações meteorológicas do Sistema Meteorológico do Paraná – SIMEPAR (2000-2018) e 27 estações pluviométricas do Instituto das Águas Paraná (1976-2018) (Figura 1).

Para a precipitação foram utilizados apenas os dados das estações pluviométricas, pois elas possuem séries longas de dados (1976-2018). A espacialização desses dados foi realizada por meio da interpolação, que é um método eficaz para a visualização espacial dos dados climáticos. A visualização deu-se por meio de isoietas e/ou de valores preenchidos espacialmente por estatísticas de regressões ajustadas utilizando o algoritmo de interpolação espacial *Inverse distance weighted* (IDW) (MUELER, 2004; LEM et al., 2013). Os mapas foram criados por meio do Software Qgis.

Os dados pontuais das estações pluviométricas foram inseridos no Software Qgis e transformados em um arquivo tipo *raster*, com auxílio do interpolador IDW. Este arquivo exibe uma superfície regular ajustada a estes dados pontuais de interesse com pixel de resolução espacial de 1,0 km por 1,0 km. Posteriormente foram inseridas isoietas e seus valores para melhor visualização das áreas com precipitação e/ou insolação similar, bem como regionalizá-las.

Foi utilizada a base do SRTM - *Shuttle Radar Topography Mission* para aplicar os valores meteorológicos nos mapas, usando os fatores geográficos do relevo e altitude na escala de 30,0 m. Esses fatores são utilizados, visto a influência sobre a temperatura. Esse método é necessário para espacializar e regionalizar os dados para áreas que não possuem dados de temperatura, com maior precisão.

Para a espacialização dos dados de temperatura média e geada, os valores medidos nas estações meteorológicas foram ajustados a equações de regressão linear múltipla, articulando os valores das estações meteorológicas com os fatores geográficos de altitude, latitude e longitude, obtendo-se equações de estimativa do tipo:  $y = a + b.lat + c.long + d.alt$ , em que a, b, c, d são coeficientes da regressão. Essa fórmula é aplicada no software de geoprocessamento Arcgis sobre o arquivo do SRTM, possibilitando gerar mapas, como já mencionado, com resolução espacial de 30,0 m.

O método utilizado para a probabilidade de geada foi baseado nas séries históricas de temperatura mínima registrada dentro do abrigo meteorológico. Foram determinadas as probabilidades de ocorrerem valores iguais ou menores que 1,0 °C e posteriormente ajustadas também à equação  $y = a + x.lat + y.long + z.alt$ .

O Balanço Hídrico Climatológico (BHC) foi obtido pelo método de Thornthwaite e Mather (1955), utilizando a equação com os valores de diversas variáveis meteorológicas e a capacidade de água disponível no solo (CAD) proporcional à profundidade efetiva das raízes das espécies analisadas. Foram considerados os dados médios mensais de precipitação (extraídos dos totais mensais de cada ano) e a temperatura média mensal (extraída das médias mensais dos valores diários de cada ano). Em seguida, calculou-se a evapotranspiração potencial (ETP) pelo método de Thornthwaite. Primeiramente, calculou-se a evapotranspiração potencial padrão (ETPp, mm.mês<sup>-1</sup>) pela fórmula empírica:

- i) Quando:  $0 < T_n < 26,5^\circ\text{C}$ ,  $ETP_p = 16 \left( 10 \frac{T_n}{I} \right)^a$
- ii) Quando:  $T_n \geq 26,5^\circ\text{C}$ ,  $ETP_p = -415,85 + 32,24 T_n - 43,0 T_n^2$

em que:

$T_n$  - temperatura média do mês n, em °C; e I é um índice que expressa o nível de calor da região. O subscrito n representa o mês, ou seja, n = 1 corresponde a janeiro; n = 2 corresponde a fevereiro etc.

O valor de I depende do ritmo anual da temperatura do ar, integrando o efeito térmico de cada mês, sendo calculado pela fórmula:

$$I = 12(0,2 Ta)^{1,514} \quad (1)$$

O expoente “a”, sendo uma função de I, também é um índice térmico regional, sendo calculado pela expressão:

$$\alpha = 0,49239 + 1,7912 \times 10^{-2} I - 7,71 \times 10^{-5} I^2 + 6,75 \times 10^{-7} I^3 \quad (2)$$

O valor de ETPp representa o total mensal de evapotranspiração que ocorreria nas condições térmicas de um mês padrão de 30 dias e cada dia com 12 horas de fotoperíodo (N). Portanto, a ETPp deve ser corrigida em função de N e do número de dias do período (NDP).

$$COR = \left(\frac{N}{12}\right) \left(\frac{NDP}{31}\right) \quad (3)$$

### Zoneamento de risco agroclimático

Os fatores de risco selecionados para o zoneamento agrícola de risco climático foram:

- Precipitação anual: foram selecionados os dados de precipitação mensal e anual de séries meteorológicas de 27 estações pluviométricas da bacia. Os resultados obtidos foram interpolados em um sistema de informação geográfica para a geração dos mapas com a regionalização dos dados por meio do IDW. Foi considerado: Alto Risco: precipitação anual inferior a 1.200 mm e baixo risco, superior a 1.200 mm e inferior a 3.100 mm anuais bem distribuídos durante o ano (FONSECA et al., 2004).
- A Dha (deficiência hídrica anual) foi estimada de acordo com o método de Thornthwaite e Matter (1955), tendo sido obtida pelo cálculo do balanço hídrico climatológico normal para as estações meteorológicas. Utilizou-se do valor de 100 mm para a capacidade de água disponível (CAD) no solo, considerando que o sistema radicular da bananeira explora uma profundidade superior a 1,0 m de perfil do solo. Os resultados obtidos foram interpolados no sistema de informação geográfica (SIG) ArcGis 10.0 para a geração dos mapas de deficiência hídrica anual. Para o risco de deficiência hídrica, foram considerados: Alto Risco: Dha > 80 mm, Baixo Risco: Dha < 80 mm (FONSECA et al., 2004).
- Temperatura média anual foram utilizados dados meteorológicos das séries históricas de temperaturas médias observadas no interior de abrigos meteorológicos para estimar a temperatura média anual. Foi aplicada regressão em função da latitude, longitude e altitude para toda a bacia. Foram definidas as seguintes classes de risco para a Ta: Alto Risco: inferior a 22 °C e Baixo Risco: de 22 °C a 26 °C (COELHO FILHO et al., 2011; DANTAS; JUNGHANS, 2013).
- Umidade relativa do ar: Graças à propagação de doenças, foi considerado o limite superior de alto risco de > 85,0 % e o limite inferior por seca de < 60,0 %. Os valores de umidade nesse intervalo foram classificados como baixo risco (FONSECA et al., 2004; COELHO FILHO et al., 2011; DANTAS et al., 2013).
- Risco de geada: foram utilizados dados meteorológicos de temperatura mínima das séries históricas de 13 estações, considerando ocorrências de valores iguais ou inferiores a 1,0°C, observados no interior do abrigo meteorológico para calcular os riscos de geadas.



Foram calculadas as probabilidades de ocorrência anual e correlacionadas com altitude e latitude, obtendo-se uma equação de regressão para o risco de geadas. Utilizando as regressões ajustadas foram estimados como alto risco valores superiores a 20,0 % (COELHO FILHO et al., 2011; DANTAS e JUNGHANS, 2013).

No software Arcgis, para a criação dos mapas temáticos e do mapa final do zoneamento, primeiramente os valores numéricos das estações meteorológicas são transformados em pontos conforme as coordenadas geográficas das estações. Após a espacialização dos dados, foram utilizadas as informações edafoclimáticas das espécies. Foi realizada a delimitação das faixas representativas das exigências climáticas do abacaxizeiro. Dessa forma, são substituídos os valores das estações por “1. Apto” ou “2. Restrito” conforme as exigências fisiológicas para cada variável meteorológica analisada.

O próximo passo consiste na combinação das imagens matriciais. Para cada pixel são atribuídos os valores “1” ou “2”, como já destacado. Se a combinação para um ponto for preenchida apenas por valores “1”, a região será classificada como apta. Se tiver um valor “2”, será restrita por determinada variável. Se forem registrados dois ou mais valores “2”, o local será classificado como inapto.

Em seguida, é realizada a uniformização dos pixels por classificações por meio da dissolução das classes vetoriais. Dessa forma, as classes do zoneamento agroclimático são agrupadas, criando uma regionalização da aptidão para cada espécie. O mapa final do zoneamento agroclimático de cada cultura fornecerá estimativa da área representativa de cada classe de risco, garantindo a sua aptidão ou não para o local.

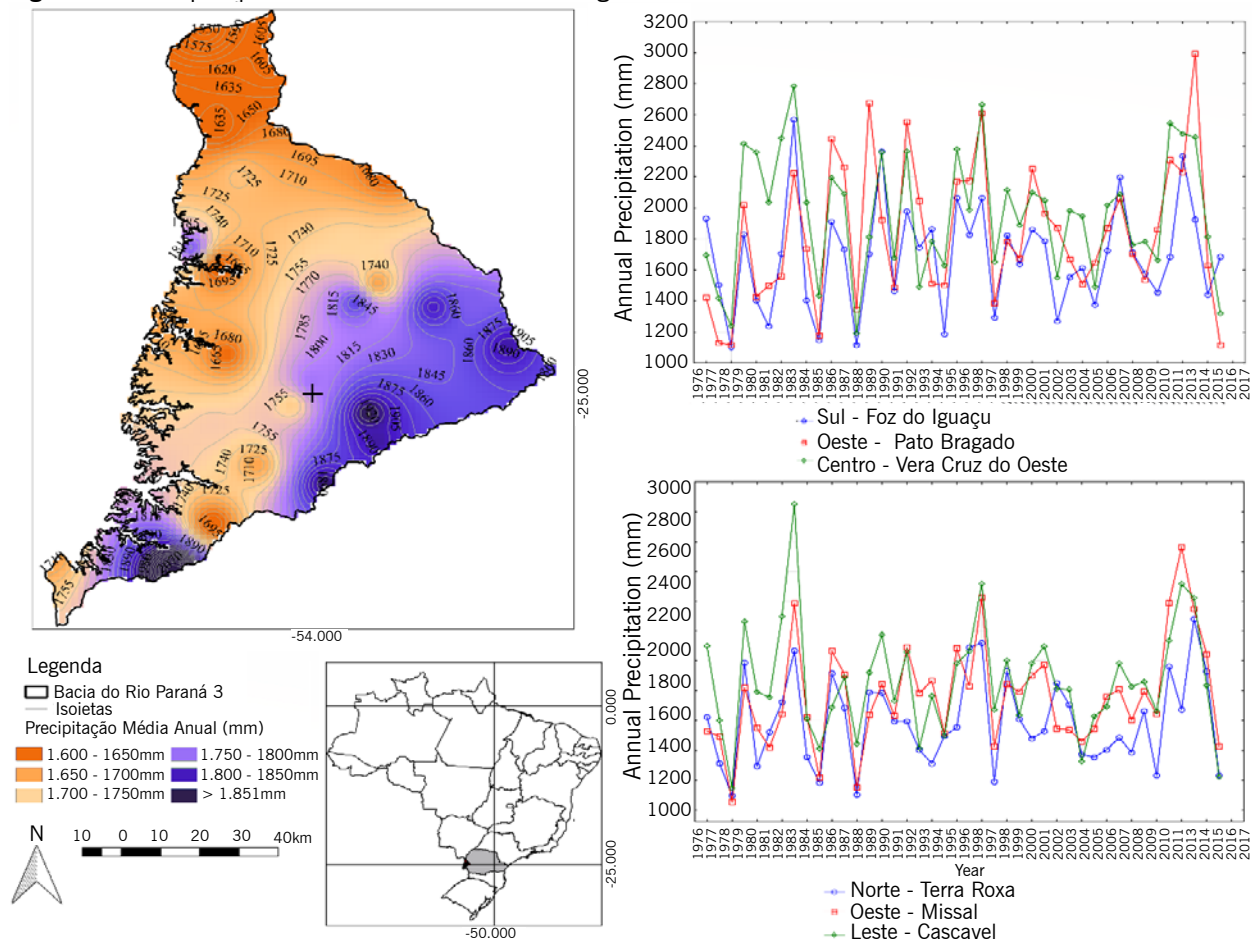
## Resultados e discussão

A precipitação da bacia do Rio Paraná III não apresentou restrição para o cultivo do mamoeiro (Figura 2). Como o risco avaliado era de precipitação inferior a 1.200,0 mm na média anual, o menor registro foi de 1680,0 mm no extremo norte da bacia na região de Guaíra.

Ao avaliar o risco anual nos exemplos de estações pluviométricas espalhadas pela região, houve poucas ocorrências de precipitação inferior a 1.200,0 mm mesmo nos anos extremamente secos. As estações de Foz do Iguaçu e Missal, localizadas no extremo sul e oeste, respectivamente, foram as que mais apresentaram ocorrências, com apenas três cada, e todas superiores a 1.000,0 mm.



Figura 2 – Precipitação média anual na Bacia Hidrográfica do Rio Paraná III.

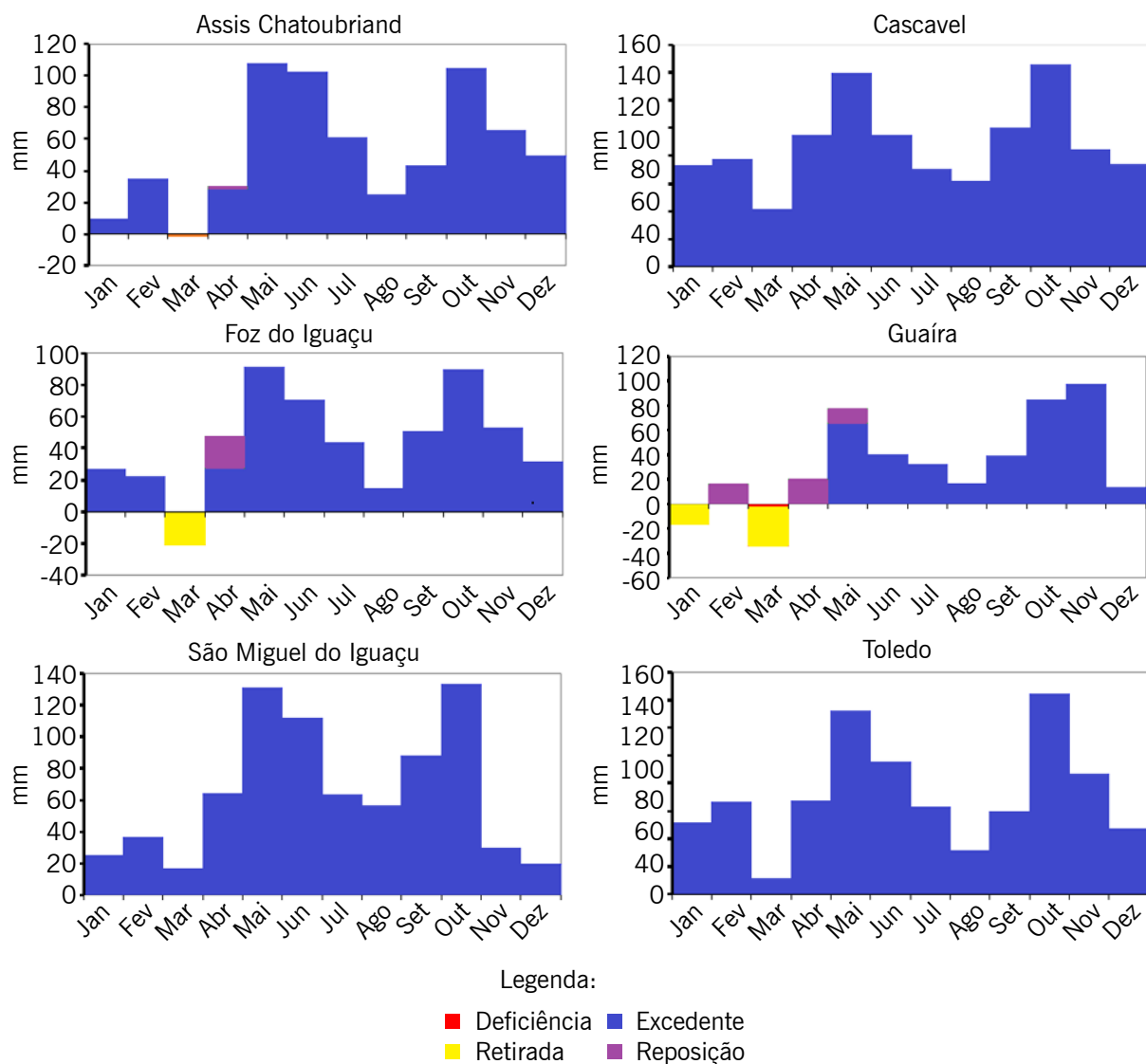


Fonte: Organizado pelos autores (2020).

O mamoeiro é uma planta muito exigente em água, tanto no período de crescimento quanto no período de produção, sendo necessário irrigar a cultura em regiões com déficit hídrico acentuado e/ou má distribuição de chuvas. Como o mamoeiro é sensível ao encharcamento deve-se evitar o método de irrigação por inundação (DANTAS et al., 2013). A necessidade hídrica para o mamoeiro na Bacia do Rio Paraná III foi avaliada por meio balanço hídrico (Figura 3).

Como o risco avaliado era de 80,0 mm acumulados ao ano, nenhuma estação apresentou risco para o cultivo do mamoeiro. Em Guaíra que apresentou maior deficiência, o acumulado foi de 56,0 mm. Os extratos mostram balanço hídrico menos favorável nos meses de janeiro a abril, graças a elevadas temperaturas e aumento na evapotranspiração, devendo o agricultor dar grande atenção à espécie nesse período e em casos extremos entrar com a irrigação, mesmo que de forma pontual.

**Figura 3** – Balanço hídrico para a cultura do Mamoeiro na Bacia Hidrográfica do Rio Paraná III.

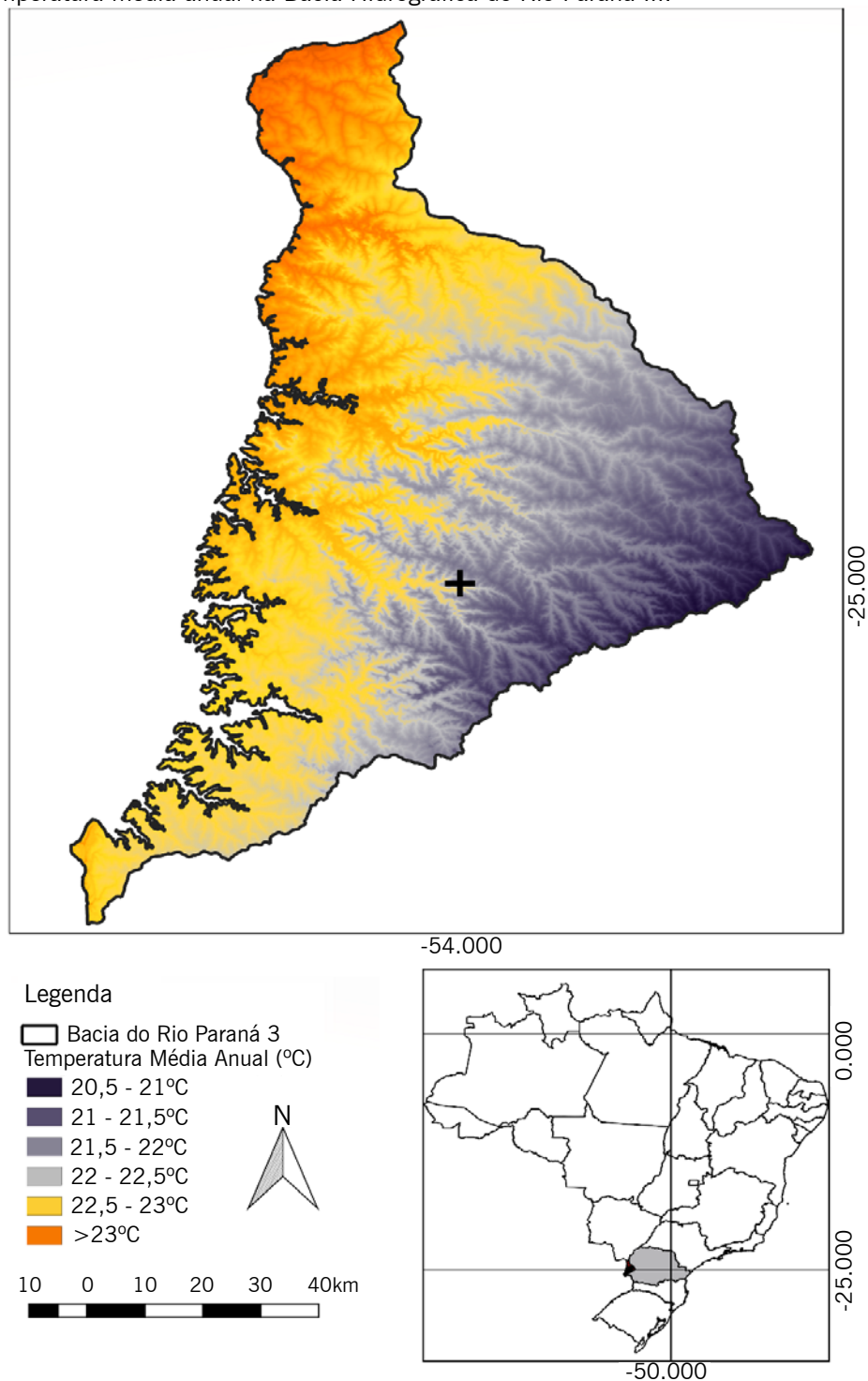


**Fonte:** Organizado pelos autores (2020).

O mamoeiro é uma planta tipicamente tropical, vegetando bem em regiões de alta insolação, com temperaturas variando de 22,0 °C a 26,0 °C (DANTAS et al., 2013). Observou-se que a temperatura na região responde mais ao fator geográfico da altitude (FIGURA 4) do que pela latitude, uma vez que a região de Cascavel, mesmo estando ao norte de Foz do Iguaçu, apresentou as menores temperaturas médias da região, em torno dos 21,0 °C. Classificou-se assim toda a faixa centro-leste como inapta.

As maiores temperaturas médias foram observadas na região de Guairá, no extremo norte da bacia, chegando a superar os 23,0 °C. A faixa em cinza claro no mapa apresenta a porção apta para o pleno desenvolvimento do mamoeiro na região, abrangendo ainda toda a região oeste, próxima à calha do Rio Paraná III.

**Figura 4** – Temperatura média anual na Bacia Hidrográfica do Rio Paraná III.



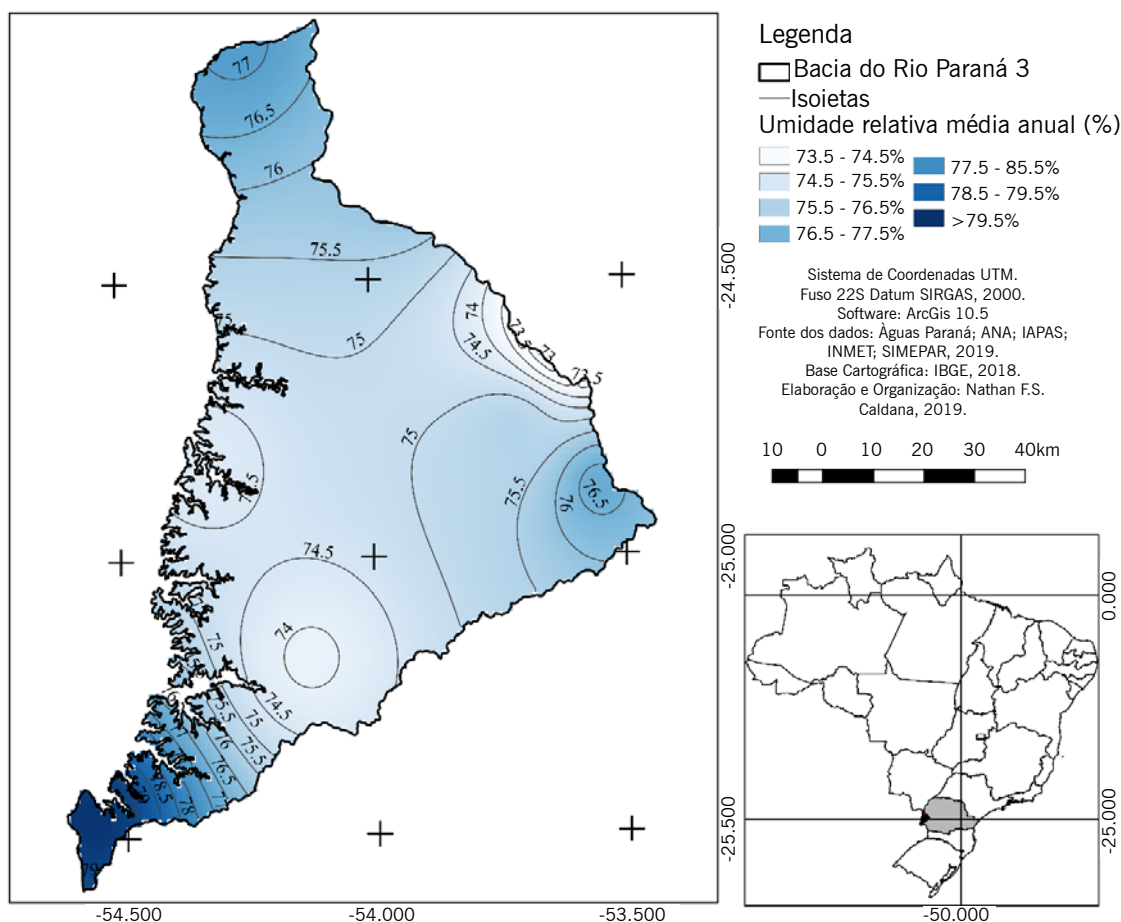
**Fonte:** Organizado pelos autores (2020).

Nesse sentido, Coelho Filho (et al., 2011) averiguaram a aptidão climática da cultura do mamoeiro e perspectivas de mudanças climáticas para o Estado da Bahia, Brasil. A principal diferença nos parâmetros de risco foi a precipitação, na qual os autores consideraram apto para o cultivo de mamão a partir de 900,0 mm anuais. Por meio das projeções do IPCC, as simulações testadas

sugerem que até 2070, o mamoeiro teria redução de aproximadamente 100,0 % da sua área de produção na Bahia, com temperaturas médias podendo superar 31,0 °C, demonstrando, assim, a importância dessa variável na restrição do plantio do mamão, principalmente em áreas mais quentes, sem a ocorrência de geadas.

A umidade elevada (Figura 5) associada a temperaturas relativamente baixas predispõe a cultura a um forte ataque de fungos e vírus. A máxima umidade classificada como apta para o plantio do mamão é de 85,0%, enquanto a mínima, apresentando a preocupação com a necessidade hídrica da espécie, é de 60,0 %.

**Figura 5** – Distribuição da umidade relativa média anual na Bacia Hidrográfica do Rio Paraná III, de acordo com a distribuição de extremos.



**Fonte:** Organizado pelos autores (2020).

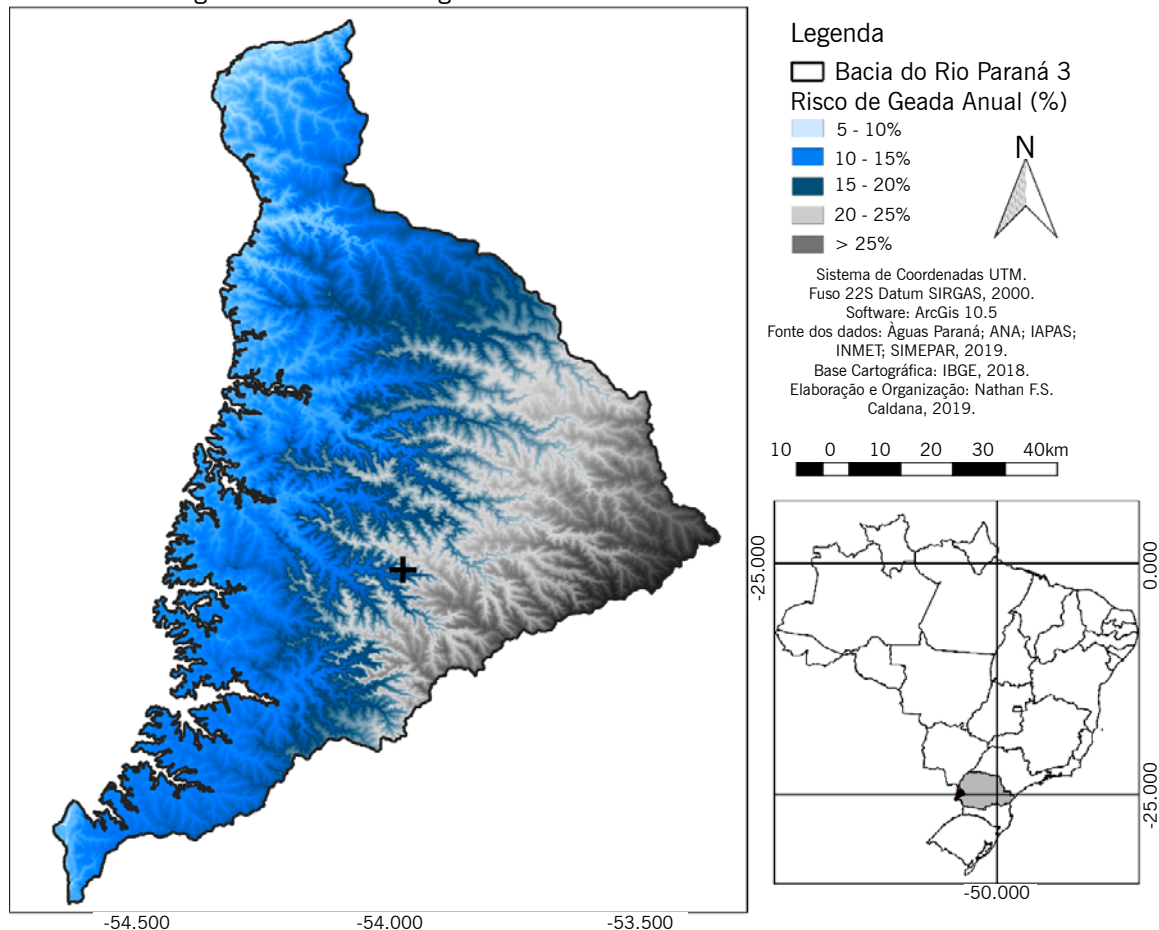
A umidade relativa média na região teve pico em Foz do Iguaçu, localizada nas bordas do Rio Iguaçu e Paraná, nesta localidade a umidade chegou a 79,0 %. Enquanto nas bordas da região, próximo a Assis Chateaubriand, houve redução da umidade, chegando a 73,0 %. Dessa forma, por essa variável, nenhuma das regiões apresentou restrição pela umidade relativa.

Em temperaturas baixas, o mamoeiro paralisa seu desenvolvimento vegetativo; reduz o florescimento; atrasa a maturação e produz frutos de baixa qualidade. Os ventos frios e geadas provocam a queima das folhas, reduzindo a área de fotossíntese e, conseqüentemente, a produção.

Dessa forma a ocorrência de geada é o principal parâmetro a ser avaliado para se planejar o plantio do mamão, por ser extremamente danosa para a cultura.

O risco de geada na região (FIGURA 6) apresentou distribuição similar à temperatura média, com risco maior na porção leste, próximo a Cascavel e Santa Tereza do Oeste na porção mais alta da bacia e em alguns fundos de vale da porção central. Enquanto a porção central da bacia apresenta risco de 10,0% a 20,0%, nas porções mais baixas, próximos ao vale do Rio Paraná 3, principalmente no eixo Norte-Sul de Guaíra/Terra Roxa a Foz do Iguaçu/Santa Terezinha de Itaipu, o risco cai para cerca de 5,0 %.

**Figura 6** – Risco de geada na Bacia Hidrográfica do Rio Paraná III.

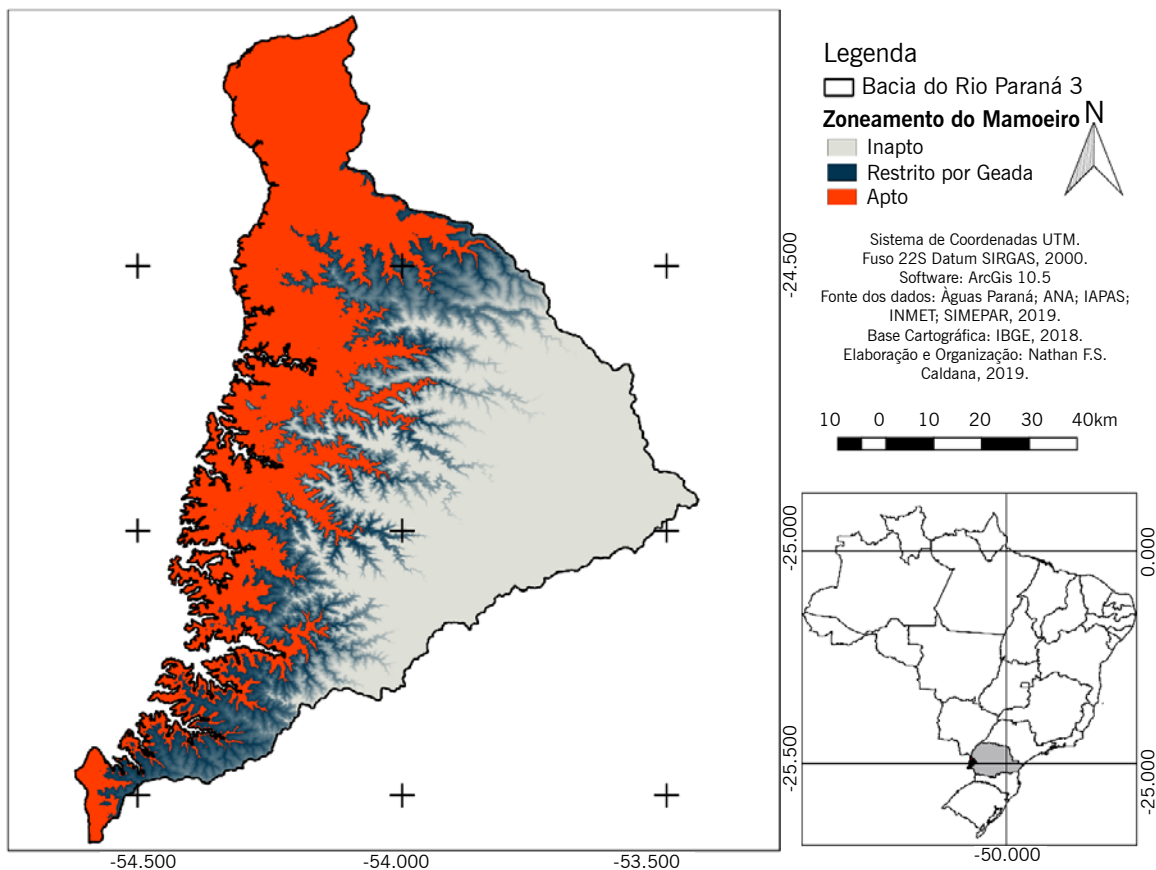


**Fonte:** Organizado pelos autores (2020).

O mapa final do zoneamento (Figura 7) foi definido, principalmente pelas restrições já mencionadas de temperatura média e geada, a primeira interferindo no pleno desenvolvimento da espécie, e a última podendo levar a senescência da espécie.

Dessa forma, porção mais alta (Figura 1) e conseqüentemente mais fria (Figura 3) apresentou restrição para o cultivo. Toda a porção central e leste da bacia foi classificada como inapta. Uma pequena área localizada nas faixas intermediárias foi classificada como restrita, onde o risco de geada é de 10,0%, sendo que, se o produtor for realizar o plantio, deve estar sempre atento à ocorrência de geadas.

**Figura 7** – Zoneamento de risco agroclimático do mamoeiro (*Carica papaya* L.) na Bacia Hidrográfica do Rio Paraná III.



**Fonte:** Organizado pelos autores (2020).

Mesmo nas regiões aptas, o risco de geada permanece, dessa forma, o produtor deve evitar os fundos de vale, e conceder preferência ao cultivo em áreas não muito declivosas, para facilitar o deslocamento do ar frio. Preferencialmente deve-se utilizar o topo do espigão e meia encosta, principalmente, nas faces voltadas para o norte, uma vez que, como destacado a frente fria tem deslocamento preferencial no sentido sul/sudoeste, sentido nordeste (CALDANA et al., 2018; CALDANA et al., 2019; CALDANA; MARTELÓCIO, 2019).

Para o plantio em áreas sem irrigação, como já mencionado, não viáveis na região, as mudas devem ser levadas para campo no início das chuvas e plantadas em dias nublados ou chuvosos. O mamoeiro inicia sua produção cerca de 8 a 10 meses após o plantio das mudas no campo, dependendo da região.

Cabe-se destacar que o zoneamento não elimina os riscos, apenas apresenta condições mais favoráveis para o desenvolvimento da bananeira. Sendo a agricultura uma atividade de risco, todas as atividades estão suscetíveis a qualquer evento extremo, podendo ou não trazer prejuízos. O zoneamento vem para dar maior segurança nas tomadas de decisões, no planejamento agrícola e em cenários de alterações climáticas, principalmente na Bacia do Rio Paraná III.



## Conclusões

A Bacia Hidrográfica do Rio Paraná III possui uma pequena faixa, na porção oeste, com baixo risco climático para a cultura do mamoeiro, principalmente nas áreas com menores altitudes, nas bordas do Rio Paraná.

A precipitação e o balanço hídrico apresentaram valores suficientes em todos os cenários testados para a produção do mamão.

O fator mais limitante para a produção é a ocorrência de geadas graças aos danos causados à árvore e aos frutos, bem como a temperatura média, restringindo o desenvolvimento da espécie. Limitou-se, assim, o plantio em toda a porção centro-leste da bacia.

Tomadas de decisão associadas a técnicas de manejo conservacionista contribuem redução do risco de geada e evitar áreas com maior incidência do fenômeno, garantindo maior sucesso no cultivo do mamão na região.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à Itaipu Binacional, ao Projeto Ibatiba e à Fundação Apoio à Pesquisa Desenvolvimento do Agronegócio (FAPEAGRO), pela bolsa de estudos do primeiro autor.

## Agroclimatic Risk Zoning of Papaya (*Carica papaya* L.) in the Hydrographic Basin of Paraná River III, Brazil

### Abstract

Brazil is the largest producer and consumer of papaya (*Carica papaya* L.) in the world. Despite modern technological and scientific advances, climate is still the most important meteorological variable in agricultural production. In this context, agroclimatic risk zoning should be one of the first things to be considered when planning cultivation. The purpose of this study was to carry out climatic risk zoning for papaya cultivation in the Basin of Paraná River III, Paraná state, Brazil. Were used meteorological data from 1976 to 2018, collected from 43 stations. The climatic risk analysis was based on the precipitation, water balance, average annual temperature, average insolation, and frost tolerance required for papaya cultivation. The occurrence of frosts is the key limiting factor for production in the study area. This meteorological factor limits the viability of papaya cultivation in the Center-East region of the Basin. In other areas, risk remains, however, the papaya is apt for cultivation.

**Keywords:** Climate aptitude. Climate variability. Agricultural planning.

### Referências

AKTARUZZAMAN, M.; AFROZ, T.; LEE, Y. G.; KIM, B. S. Post-harvest anthracnose of papaya caused by *Colletotrichum truncatum* in Korea. **European journal of plant pathology**, v. 150, n. 1, p. 259-265, 2018.

CALDANA, N. F. S.; JUNIOR, G. M. Y.; DE MOURA, D. A. V.; DA COSTA, A. B. F.; CARAMORI, P. H. Ocorrências de Alagamentos, Enxurradas e Inundações e a Variabilidade Pluviométrica na Bacia Hidrográfica do Rio Iguaçu. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 23, p. 343-355, 2018.



CALDANA, N. F. S.; MARTELÓCIO A. C. Gênese, frequência e intensidade das precipitações de granizo nas Mesorregiões Centro Oriental e Sudeste Paranaense, Brasil. **Geo textos**, v. 15, p. 205-229, 2019.

CALDANA, N. F. S.; NITSCHKE, P. R.; MARTELÓCIO, A. C.; RUDKE, A. P.; ZARO, G. C.; BATISTA FERREIRA, L. G.; MARTINS, J. A. Agroclimatic Risk Zoning of Avocado (*Persea americana*) in the Hydrographic Basin of Paraná River III, Brazil. **Agriculture**, v. 9, n. 263, p. 1-11, 2019.

CAMPOSTRINI, E.; SCHAFFER, B.; RAMALHO, J. D.; GONZÁLEZ, J. C.; RODRIGUES, W. P.; DA SILVA, J. R.; LIMA, R. S. Environmental Factors Controlling Carbon Assimilation, Growth, and Yield of Papaya (*Carica papaya* L.) Under Water-Scarcity Scenarios. In: Water scarcity and sustainable agriculture in semiarid environment. **Academic Press**, 2018. p. 481-505.

COELHO FILHO, M. A.; DA SILVA, T. S. M.; DE ALMEIDA, C. O.; ALBUQUERQUE, A. F. A.; SILVA, O. S. M. da. **Impacto do aquecimento global na aptidão do Estado da Bahia para o cultivo do mamoeiro**. Cruz das Almas, BA: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2011.

DANTAS, J. L. L.; JUNGHANS, D. T. **Mamão: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília, DF: Embrapa, 2013.

FONSECA, E. L.; BOLFE, E. L.; DA SILVA JÚNIOR, J. F. **Zoneamento agrícola para espécies frutíferas tropicais do Centro-Sul do Estado de Sergipe-Abacaxi, Banana, Mamão e Mangaba**. Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2004.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **Estatísticas da Produção Agrícola**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/lspa/tabelas>. Acesso: Dezembro de 2019.

Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social - IPARDES. **Produção de Mamão**. Disponível em: <http://www.ipardes.gov.br/imp/index.php>. Acesso: dez. 2019.

KIST, H.; MANICA, I. Densidades de plantio, crescimento e produção do mamoeiro Formosa (*Carica Papaya* L.) em Porto Lucena, RS. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 30, n. 5, p. 657-666, 1995.

LEM, S.; ONGHENA, P.; VERSCHAFFEL, L.; VAN DOOREN, W. The heuristic interpretation of box plots. **Learning and Instruction**, v. 26, p. 22-35, 2013.

MATOS, A. P. de; BORGES, A.; OLIVEIRA, D. D. A.; SANTOS, G. R.; CAMPOS, G.; GEBLER, L.; CORDEIRO, Z. **Produção integrada de fruteiras tropicais**. Embrapa Mandioca e Fruticultura-Livro científico (ALICE), 2012.

MAURYA, N. K.; GOSWAMI, A. K.; SINGH, S. K.; PRAKASH, J.; GOSWAMI, S.; CHINNUSAMY, V.; TALUKDAR, A.; PRADHAN, S.; KUMARI, A. Studies on expression of CBF1 and CBF2 genes and anti-oxidant enzyme activities in papaya genotypes exposed to low temperature stress. **Scientia Horticulturae**, v. 261, p. 108914, 2020.

MIGLIACCIO, K. W.; SCHAFFER, B.; CRANE, J. H.; DAVIES, F. S. Plant response to evapotranspiration and soil water sensor irrigation scheduling methods for papaya production in south Florida. **Agricultural water management**, v. 97, n. 10, p. 1452-1460, 2010.

NITSCHKE, P. R.; CARAMORI, P. H.; RICCE, W. D. S.; PINTO, L. F. **Atlas Climático do Estado do Paraná**. Londrina, PR: Instituto Agrônômico do Paraná - IAPAR. 2019. Disponível em: <http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=677>. Acesso em: 21 dez. 2019

PAN, Y. G.; YUAN, M. Q.; ZHANG, W. M.; ZHANG, Z. K. Effect of low temperatures on chilling injury in relation to energy status in papaya fruit during storage. **Postharvest Biology and Technology**, v. 125, p. 181-187, 2017.

PRADHAN, S.; GOSWAMI, A. K.; SINGH, S. K.; PRAKASH, J.; GOSWAMI, S.; CHINNUSAMY, V.; TALUKDAR, A.; MAURYA, N. K. Low temperature stress induced physiological and biochemical alterations in papaya genotypes. **South African Journal of Botany**, v. 123, p. 133-141, 2019.

RODRIGUES, L. G. G.; MAZZUTTI, S.; VITALI, L.; MICKE, G. A.; FERREIRA, S. R. S. Recovery of bioactive phenolic compounds from papaya seeds agroindustrial residue using subcritical water extraction. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 22, p. 101367, 2019.

SALINAS, I.; HUESO, J. J.; CUEVAS, J. Fruit growth model, thermal requirements and fruit size determinants in papaya cultivars grown under subtropical conditions. **Scientia horticultrae**, v. 246, p. 1022-1027, 2019.

SILVERIO, T. C.; MARTELLETO, L. A. P.; REZENDE, N. C.; PIVOTO, H. C.; FERREIRA, L. I. Influência das variáveis climáticas na incidência da varíola do mamoeiro “Sunrise Golden” em diferentes densidades de cultivo sob manejo orgânico de produção. **Revista Agrogeoambiental**, v. 10, n. 4, 2019.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. The water balance. Centerton: Drexel Institute of Technology, Laboratory of Climatology, 1955. 104p. **Publications in climatology**, v. 8, n. 1, 1955.

TREVISAN, E. **Microclima sob a copa do mamoeiro cultivado com café e em diferentes orientações de plantio, ao longo do ano**. Dissertação de mestrado defendida na Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória 2017.

URTASUN, M. M.; GIAMMINOLA, E. M.; BASKIN, C. C.; VIANA, M. L. de; MORANDINI, M. N.; LAMAS, C. Y.; ROJAS, M. F. Dormancy release, germination and ex situ conservation of the southern highland papaya (*Vasconcellea quercifolia*, Caricaceae), a wild crop relative. **Scientia Horticulturae**, v. 263, p. 109-134, 2020.

VIVAS, J. M. S.; VIVAS, M.; SILVEIRA, S. F. da. Effect of temperature on in vitro growth and sporulation of hyperparasites fungi of *Asperisporium caricae*. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, n. 1, p. 73-81, 2015.

**Recebido em:** 22 de janeiro de 2020

**Aceito em:** 04 de maio de 2020