

Adubação potássica e época de semeadura em soja para a produção de etanol

Márcio Toller¹

Joenes Mucci Peluzio²

Evandro Reina³

Maria Dilma de Lima⁴

Celso Hackenhaar⁵

Neusa Hackenhaar⁶

Resumo

A cadeia produtiva do biodiesel gera coprodutos, como o melaço, com potencial para produção de biodiesel e que pode agregar valor e gerar outras fontes de renda para os produtores. Neste sentido, no presente estudo foram avaliados cultivares em diferentes épocas de semeadura quanto à eficiência de uso de potássio para teor e rendimento de carboidratos, visando à produção de etanol na região centro-sul do Estado do Tocantins. No ano agrícola de 2013/2014, foram realizados quatro ensaios de competição de cultivares, dois instalados em 05/12/2013 e dois em 23/01/2014. Em cada época, foram utilizadas duas doses de potássio, sendo uma alta (200 kg.ha⁻¹ de K₂O) e outra baixa (40 kg.ha⁻¹ de K₂O). Foi utilizado o delineamento de blocos casualizados com quatro repetições e sete tratamentos: BRS 333, BRS 33871, BRS 325, M 9144, P 98Y70, TMG 1180 e TMG 1288. Em semeaduras tardias e sob alta dose de potássio (200 kg.ha⁻¹ K₂O), houve um maior acúmulo de açúcares redutores totais nos grãos. Altas temperaturas e baixos índices pluviométricos; a fase de enchimento de grãos favorece o acúmulo de açúcares redutores totais nos grãos. Os cultivares TMG 1288 RR, sob alto e baixo potássio, e TMG 1180 RR, sob baixo potássio, são promissores para produção de etanol, sendo este último também eficiente quanto ao uso de potássio.

Palavras-chave: Biocombustível. Doses de potássio. Épocas de plantio. Glycine max. Produção de álcool.

Introdução

A soja está entre os principais produtos agrícolas do Brasil, sendo responsável por 39,2 % do Produto Interno Bruto (PIB) do agronegócio nacional, com estimativa de produção para a safra

1 Universidade Federal do Tocantins (UFT), mestrando em Agroenergia. São Borja (RS), Brasil. marcio.toller@hotmail.com. Travessa Papa João Paulo I, 87, Pirahy, CEP: 97670-000.

2 Universidade Federal do Tocantins (UFT), doutor em Genética e Melhoramento de Plantas. joenesp@uft.edu.br.

3 Universidade Federal do Tocantins (UFT), mestre em Agroenergia. Palmas (TO), Brasil. evandro.reina@uft.edu.br.

4 Universidade Federal do Tocantins (UFT), professora doutora em Biodiversidade e Conservação. mariadilma@uft.edu.br.

5 Universidade Federal do Tocantins (UFT), doutorando em Biotecnologia e Biodiversidade Amazônica. celso@uft.edu.br.

6 Universidade Federal do Tocantins (UFT), mestre em Agroenergia. neusamaria@uft.edu.br.

2016/17 de 8,0 milhões de toneladas de óleo e 30,6 milhões de toneladas de farelo (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE ÓLEO VEGETAIS - ABIOVE, 2016).

Nos últimos 40 anos de cultivo da soja no cerrado, principal produtor nacional, a produção cresceu sete vezes, enquanto a área plantada aumentou quatro vezes, oriunda do crescente avanço em pesquisa e tecnologia (SEDIYAMA, 2015). Contudo, como a maior parte dos solos de cerrado é ácido e com baixa fertilidade natural, há a necessidade da utilização de grandes quantidades de insumos, dentre os quais um dos mais requeridos é o potássio (K) (MALAVOLTA, 2006).

O potássio favorece a formação e translocação de carboidratos na síntese da celulose, na respiração da planta, na fotossíntese e no uso eficiente da água pela planta (REIS JUNIOR; MONNERAT, 2001). Além disso, segundo Malavolta (2006), o potássio é importante na formação dos açúcares e do amido e para seu transporte até os órgãos de reserva na forma de carboidratos, constituinte fundamental para a produção de etanol.

A principal forma de fornecimento do potássio para suprir as necessidades da cultura é oriunda de elevadas quantidades de adubação potássica, uma vez que este elemento tem alta mobilidade nos solos e baixa eficiência de uso. Estas aplicações geram grandes custos operacionais e desequilíbrios ambientais, sendo, portanto, necessários estudos de eficiência de uso do potássio pela cultura, que seriam estratégicos do ponto de vista econômico e ambiental, pois o uso de cultivares eficientes reduziria sobremaneira o uso deste insumo (STEINER, 2014).

Dentre os coprodutos da soja, o melaço de soja, que é resultante da produção de farelo concentrado, é rico em carboidratos (34 % de carboidratos totais) (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA- EMBRAPA, 2013) e desta forma pode ser utilizado como etanol combustível, fato este que vem sendo realizado pelas empresas IMCOPA, localizada em Ponta Grossa (PR) e SELECTA, localizada em Araguari (MG) (SIQUEIRA, 2007).

Neste sentido, o presente estudo foi realizado com o objetivo de avaliar cultivares de soja em diferentes épocas de semeadura, quanto à eficiência de uso de potássio, para teor e rendimentos de carboidratos, visando à produção de etanol na região centro-sul do Estado do Tocantins.

Material e métodos

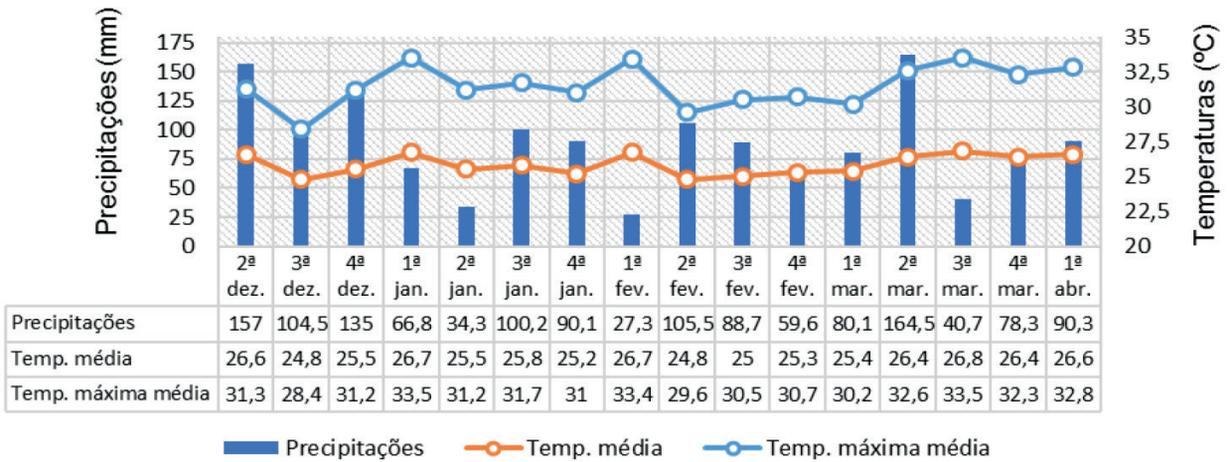
No ano agrícola de 2013/2014, foram realizados quatro ensaios de competição de cultivares de soja no Centro Agrotecnológico da Universidade Federal do Tocantins, *Campus* de Palmas (10°45' S; 47°14' W; e 220 m de altitude), sendo dois instalados em 05 de dezembro de 2013 e dois em 23 de janeiro de 2014, em solo do tipo Latossolo vermelho amarelo distrófico. Em cada época de semeadura, um ensaio foi realizado sob condições de alto potássio (200 kg.ha⁻¹ de K₂O) e um sob baixo potássio (40 kg.ha⁻¹ de K₂O).

Para a definição de uso das doses de alto e baixo potássio foi realizada, inicialmente, a análise de solo que apresentou os seguintes resultados: pH (H₂O): 4,1; K: 14,0 mg dm⁻³; P: 1,5 mg dm⁻³; Ca: 0,7 cmol_c dm⁻³; Mg: 0,5 cmol_c dm⁻³; M.O.: 12 g kg⁻¹; CTC: 4,6 cmol_c dm⁻³ e saturação por bases (V): 26,7%. Em seguida, foi realizada a recomendação de adubação, que resultou em uma dose de 120 kg.ha⁻¹ de K₂O (EMBRAPA, 2013).

Assim, foi estabelecido um extremo de 80 kg K₂O ha⁻¹ para mais e para menos, ficando a condição de baixo potássio em 40 kg de K₂O ha⁻¹ e o alto potássio em 200 kg de K₂O ha⁻¹. Os dados de precipitação e temperatura média, ao longo do período de condução dos ensaios, são apresentados nas Figuras 1 e 2.

Figura 1. Índices de precipitação e temperatura entre a 2ª semana de dezembro de 2013 e 1ª semana de abril de 2014, referente à 1ª época de semeadura (05/12/2014).

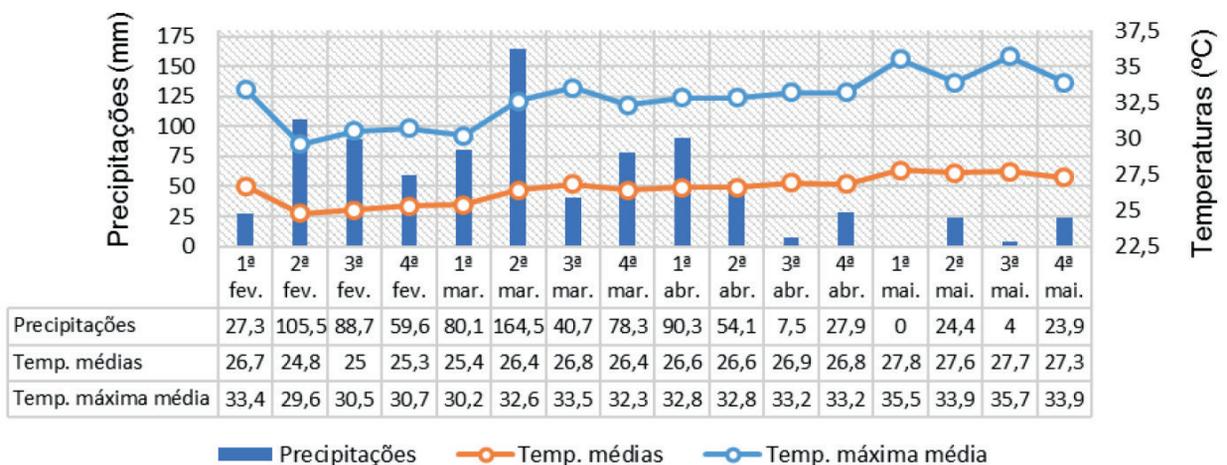
1ª Época de Plantio - Precipitação acumulada e temperatura média



Fonte: INMET - Sistematizado pelos autores (2015).

Figura 2. Índices de precipitação e temperatura entre a 1ª semana de fevereiro de 2014 e 4ª semana de maio de 2014, referente à 2ª época de semeadura (23/01/2014).

2ª Época de Plantio - Precipitação acumulada e temperatura média



Fonte: INMET - Sistematizado pelos autores (2015).

O delineamento experimental utilizado em cada um dos quatro ensaios foi o de blocos casualizados, com sete tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos foram representados pelas cultivares de soja BRS 333 RR, BRS 33871 RR, BRS 325 RR, M 9144 RR, P 98Y70 RR, TMG 1180 RR e TMG 1288 RR.

A parcela experimental foi composta de quatro linhas de 5,0 m de comprimento, com 0,45 m de espaçamento. A área útil de cada parcela foi representada pelas duas fileiras centrais, constituindo uma área de 3,6 m²; no entanto, no momento da colheita, 0,45 m da ponta de cada linha central foi descartado.

Após uma análise prévia do solo foi realizada inicialmente a calagem, utilizando duas toneladas de calcário dolomítico Filler ha⁻¹. O preparo do solo foi efetuado 30 dias após a correção e consistiu das operações de aração, gradagem e sulcamento.

A adubação de plantio foi realizada manualmente, sendo utilizados 750 kg.ha⁻¹ de superfosfato simples, que corresponde a aproximadamente 150 kg de P₂O₅. No momento da semeadura foram realizados os tratamentos das sementes com fungicidas, seguido de inoculação de *Bradyrhizobium japonicum*.

A densidade de semeadura foi de 12 plantas por metro linear e o controle de pragas, doenças e plantas daninhas foi realizado sempre que necessário. As plantas de cada parcela experimental foram colhidas uma semana após terem atingido 95 % das vagens maduras, ou seja, no estágio R8 da escala de Fehr et al. (1971).

A adubação de cobertura com K₂O em cada época de plantio foi realizada manualmente e parcelada em duas vezes, utilizando a formulação cloreto de potássio. A primeira, utilizando metade das doses de adubação do alto e baixo potássio, respectivamente 100 kg de K₂O ha⁻¹ e 20 kg K₂O ha⁻¹, foi realizada aos 15 dias após a emergência das plântulas. A segunda adubação, com a mesma dosagem da primeira, foi realizada aos 30 dias após a emergência.

Com base na área útil da parcela, foi realizada a correção da umidade das sementes para 12%. Em seguida, três amostras, contendo 100 gramas de sementes de cada parcela, foram separadas para a determinação dos Açúcares Redutores Totais.

Conforme Maldonade (2013), o material a ser analisado passou por hidrólise ácida e a quantificação de Açúcar Redutor Totais foi realizada por Ácido 3,5-dinitrosalicílico – DNS, cujo princípio consiste em meio básico e, à temperatura elevada, o ácido 3,5-dinitrosalicílico passou a 3-amino-5-nitrosalicílico, produzindo uma reação de oxido-redução pelo grupo hidroxílico hemiacetal do monossacarídeo (oxidando o monossacarídeo redutor), que reagem com íons e formam complexos coloridos, desenvolvendo uma coloração amarelo café que absorve 540 nm em espectrofotômetro.

Para análise dos Açúcares Redutores Totais foi realizada uma curva padrão de glicose, em que foram preparados 11 tubos de ensaio, cada um contendo 1000 µL do reagente DNS, com diferentes quantidades de água destilada e glicose (50-500 µL), sempre perfazendo um total de 2000 µL em cada tubo de ensaio. Na sequência, todos foram levados à fervura em banho-maria durante 5 minutos. Após resfriamento foram realizadas as leituras em espectrofotômetro Hach DR 5000 em comprimento de onda de 540 nm.

Após a confecção da curva-padrão da glicose, procedeu-se às análises das amostras, que consistiam do material desengordurado e hidrolisado. Uma alíquota de 50 µL do hidrolisado, após filtração, foi adicionada à 950 µL de água e 1000 µL do reagente DNS e tratada conforme mencionado na construção da curva padrão. A relação da concentração de Açúcares Redutores Totais foi obtida pela leitura da absorbância em espectrofotômetro.

O equipamento foi calibrado com uma amostra contendo apenas água e reagente DNS (branco), processada da mesma forma que as demais amostras. A determinação dos Açúcares Redutores Totais realizada durante o processo de hidrólise do material em análise foi obtida pela Curva Padrão de Glicose, que representa a absorbância em função da concentração (mg.L⁻¹) de glicose.

Posteriormente, foi determinado o rendimento médio de Açúcares Redutores Totais ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), obtido por meio do produto do teor de Açúcar Redutor Total (%) pelo rendimento de grãos ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$).

Em seguida, para cada cultivar e característica, foi avaliada a Eficiência do Uso de Potássio, segundo metodologia adaptada de Fischer et al. (1983), a partir do índice de eficiência (EUK), obtido abaixo:

$$EUK = \frac{Ya(K^-) \cdot Y\ddot{x}(K^-)}{Ya(K^+) \cdot Y\ddot{x}(K^+)}$$

em que:

$Ya(K^-)$ é o teor ou rendimento de açúcares redutores totais (ART) do cultivar “a” sob baixo K.

$Ya(K^+)$ é o teor ou rendimento de ART do cultivar “a” sob alto K.

$Y\ddot{x}(K^-)$ é o teor ou rendimento de ART de todos os cultivares sob baixo K.

$Y\ddot{x}(K^+)$ é o teor ou rendimento de ART de todos os cultivares sob alto K.

Os índices de EUK são utilizados para classificar os cultivares como eficientes (índice acima da média sob alto e baixo potássio) e não eficientes (índice abaixo da média sob alto e baixo potássio), uma vez que são utilizadas as médias dos cultivares sob alto e baixo potássio.

Com o intuito de obter apenas um índice médio de eficiência por cultivar, independentemente das épocas de semeadura, foram gerados, inicialmente, quatro índices de eficiência por época por cultivar, oriundos dos quatro valores (quatro repetições) de Açúcares Redutores Totais obtidos em alto e em baixo potássio. Assim, foram obtidos oito índices de eficiência/cultivar nas duas épocas, que foram submetidos à análise de variância individual.

Para cada característica, foi realizada análise de variância de cada um dos quatro ensaios e, posteriormente, análise conjunta dos ensaios em que o menor quadrado médio residual não diferiu em mais de sete vezes do maior (CRUZ; REGAZZI, 2007).

Os dados de eficiência para teores médios de Açúcares Redutores Totais (%) e rendimento médio de Açúcares Redutores Totais ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) foram submetidos ao teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov (SILVA; AZEVEDO, 2009). Posteriormente, as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Scott Knott, ao nível de 5 % de significância. Foi utilizado o programa Computacional Genes, versão 2007, nas análises (CRUZ, 2007).

Resultados e discussão

Produção de açúcares redutores totais

A análise de variância conjunta (Tabela 1) apresentou efeito significativo para ambiente e interação cultivar x ambiente, esta última indicando que os efeitos isolados dos fatores cultivares e ambientes não explicam toda a variação encontrada.

O coeficiente de variação foi baixo, indicando boa precisão dos experimentos segundo Costa et al. (2002).

Tabela 1. Resumo da análise de variância conjunta para o teor de açúcares redutores totais (ART) (%) em sete cultivares de soja, na safra 2013/14 em Palmas - TO.

% ART: teor de açúcares redutores totais (%); ns: não significativo; ** significativo a 1% pelo teste F.

Fator de Variação (FV)	Graus de Liberdade (GL)	Quadrado Médio (QM)
		% ART
Bloco/ambiente	12	0,03
Cultivar	6	60,07 ^{ns}
Ambiente	3	426,34 ^{**}
Cultivar x ambiente	18	36,86 ^{**}
Erro	36	0,02
Média	---	14,43
CV %	---	0,94

Fonte: Elaboração dos autores (2015).

Os resultados das médias para o teor de Açúcares Redutores Totais (tabela 2), sob alto potássio (alto K), na primeira época (época I - 05/01), proporcionaram a formação de sete grupos de médias. O cultivar TMG 1288 RR apresentou isoladamente o maior teor médio de Açúcares Redutores Totais (18,06%), seguido de BRS 33871 RR (15,41%). Por outro lado, os menores teores médios foram obtidos por BRS 325 RR (9,54%) e M 9144 RR (13,31%).

Para a 2ª época (época II - 23/01), sob alto K, também foram formados sete grupos de médias. Assim como o ocorrido na primeira época sob alto K, novamente o cultivar TMG 1288 RR obteve o maior valor médio (23,45%), seguido por TMG 1180 RR (22,03%). Os menores teores médios foram obtidos por BRS 325 RR (15,81%), que também apresentou baixo valor na primeira época, e BRS 333 RR (14,09 %).

Tabela 2. Média do teor de açúcares redutores totais (%) de sete cultivares de soja, sob dois níveis de adubação potássica em duas épocas de semeadura, na safra 2013/2014 em Palmas - TO.

Cultivar	Época I (05/12)		Época II (23/01)		Média
	Baixo K	Alto K	Baixo K	Alto K	
BRS 333 RR	9,73 cD	14,52 dA	9,94 gC	14,09 gB	12,06 f
BRS 33871 RR	8,66 dD	15,41 bC	15,76 cB	17,45 eA	14,32 e
BRS 325 RR	7,85 eD	9,54 gC	14,23 eB	15,81 fA	11,85 g
M 9144 RR	11,49 aD	13,31 fB	13,17 fC	21,76 cA	14,93 c
P 98Y70 RR	11,12 bD	13,75 eC	14,57 dB	18,79 dA	14,55 d
TMG 1180 RR	11,23 bD	14,89 cC	17,15 bB	22,03 bA	16,32 b
TMG 1288 RR	6,64 fD	18,06 aC	19,73 aB	23,45 aA	16,97 a
Média	9,53 D	14,21 C	14,93 B	19,05 A	14,43

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna constituem grupo estatisticamente homogêneo, a 5 % de significância pelo teste de Scott-Knott.

Fonte: Elaboração dos autores (2015).

Sob alto potássio, tanto na 1ª quanto na 2ª época de semeadura, o cultivar TMG 1288 RR apresentou o maior conteúdo médio de Açúcares Redutores.

Sob baixo K, na 1ª época (05/12), foram formados seis grupos de médias de plantio, em que M 9144 RR obteve o maior valor médio (11,49%), seguido por TMG 1180 RR (11,23%). Em contrapartida, os menores teores médios foram obtidos por BRS 325 RR (7,85%) e TMG 1288 RR (6,64%).

Na segunda época (23/01), sob baixo K, o cultivar TMG 1288 RR apresentou isoladamente o maior teor médio de Açúcares Redutores (19,73%), seguido de TMG 1180 RR (17,15%). Por outro lado, os menores teores médios foram obtidos por BRS 325 RR (14,23%), que também apresentou baixo valor na época I, além do BRS 333 RR (9,94%) e M 9144 RR (13,17%).

Em ambas as épocas de semeadura, sob baixo potássio, destacou-se o cultivar TMG 1180 RR, que apresentou maior valor na segunda época.

Os cultivares apresentaram os maiores valores médios para teor de Açúcares Redutores Totais sob alto potássio, independentemente da época de semeadura. Tal fato ocorreu em virtude de o potássio ser importante na formação e translocação de carboidratos (REIS JUNIOR; MONNERAT, 2001; MALAVOLTA, 2006), que são constituintes fundamentais para a produção de etanol (MALAVOLTA, 2006).

Neumann et al. (2014) estudaram o efeito de cinco doses de potássio (0%, 50%, 100%, 150% e 200%) na produção e qualidade do álcool de batata doce e verificaram que o aumento da dose de potássio resultou em matéria seca de melhor qualidade e promoveu um acréscimo linear do teor alcoólico.

Na 2ª época de semeadura (23/01), foram obtidos os maiores valores médios para o teor de Açúcares Redutores Totais, tanto em baixo quanto em alto potássio, devido, provavelmente, às maiores temperaturas médias e baixos índices pluviométricos que ocorreram nesta época (Figura 2) em relação à primeira época (Figura 1), que resultaram em estresses térmicos e hídricos.

Em situações de estresse hídrico, há incremento na biossíntese de sacarose, que é translocada via floema e armazenada como fonte de carboidratos ou como síntese de outros produtos (LACERDA et al., 2007).

Segundo Vieira (2013), na cultura da soja, os carboidratos desempenham um papel fundamental para a manutenção do ajuste osmótico e existe uma forte correlação entre o acúmulo de açúcares e a tolerância ao estresse osmótico em plantas. Assim, quando submetidas a estresse hídricos, é possível observar um aumento no acúmulo de carboidratos na planta, provavelmente relacionadas à taxa de translocação de osmossolutos para dentro dos drenos de armazenamento, visando ao restabelecimento do ajustamento osmótico.

Para Chaves-Filho e Stacciarini-Seraphin (2001), plantas submetidas à deficiência hídrica buscam mecanismos de adaptabilidade, com o propósito de terem uma produção satisfatória e, assim, perpetuarem sua espécie. Uma das formas de minimizarem os danos causados pela deficiência hídrica é o acúmulo intracelular de solutos osmoticamente ativos.

Com relação ao estresse térmico, segundo Vieira (2013), a temperatura tem influência direta nas taxas de translocação dos solutos orgânicos, sendo a faixa ótima entre 20 e 30 °C. De modo geral, há aumento na translocação com aumentos na temperatura, que resultam em acúmulos significativos de carboidratos nos órgãos de reserva da planta, principalmente na forma de sacarose (PAULA, 2011).

Além disso, sob altas temperaturas, na fase de enchimento de grãos, a conversão da sacarose em proteínas e lipídios é reduzida, assim como ocorre uma redução das suas atividades enzimáticas (FLOSS, 2011).

Rendimentos de açúcares redutores totais

A análise de variância conjunta (Tabela 3) apresentou efeito significativo para ambiente e interação cultivar x ambiente. A não significância para cultivares indica que não existe uma variabilidade genética entre os cultivares em estudo.

O coeficiente de variação foi baixo, indicando boa precisão dos experimentos segundo Costa et al. (2002).

Tabela 3. Resumo da análise de variância conjunta para os rendimentos de Açúcares Redutores Totais (RART) ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) em sete cultivares de soja, na safra 2013/2014 em Palmas - TO.

Fator de Variação (FV)	Graus de Liberdade (GL)	Quadrado Médio (QM)
		RART ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)
Bloco/ambiente	12	79814,94
Cultivar	6	1061237,68 ^{ns}
Ambiente	3	75245892,14 ^{**}
Cultivar x ambiente	18	675544,47 ^{**}
Erro	36	47887,45
Média	---	2590,67
CV %	---	8,45

* Rendimentos de açúcares redutores totais; ns: não significativo; ** significativo a 1% pelo teste F.

Fonte: Elaboração dos autores (2015).

Os resultados para o rendimento médio de Açúcares Redutores Totais encontram-se na Tabela 4.

Para as condições de alto K, na primeira época (época I - 05/01), foram formados seis grupos de médias. O cultivar TMG 1288 RR apresentou, isoladamente, o maior teor de rendimento de açúcares redutores ($775,81 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), seguido de BRS 333 RR ($701,13 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), BRS 33871 RR ($653,55 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) e TMG 1180 RR ($639,36 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$). Por outro lado, os menores teores médios foram obtidos por P 98Y70 RR ($534,34 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) e BRS 325 RR ($419,11 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$).

Para a 2ª época (época II - 23/01), sob alto K, foram formados sete grupos de médias. Assim como o ocorrido na primeira época sob alto K, novamente o cultivar TMG 1288 RR obteve o maior teor ($357,27 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), seguido por TMG 1180 RR ($318,95 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) e BRS 33871 RR ($302,01 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$). Os menores teores médios foram obtidos por BRS 333 RR ($176,12 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) e BRS 325 RR ($138,88 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), este último também apresentou baixo valor médio na primeira época.

Sob alto potássio, tanto na 1ª quanto na 2ª época de semeadura, o cultivar TMG 1288 RR apresentou os maiores teores de rendimento de Açúcares Redutores, com maior teor médio na época I. Por outro lado, BRS 325 RR apresentou o pior desempenho em ambas as épocas.

Sob baixo K, na 1ª época (05/12), foram formados três grupos de médias de plantio, em que TMG 1180 RR obteve o maior valor médio ($420,16 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) sem, contudo, diferir significativamente de BRS 33871 RR ($410,20 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) e BRS 333 RR ($397,11 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), que não se diferiram significa-

tivamente. Por outro lado, os menores teores médios foram obtidos por BRS 325 RR (252,43 kg.ha⁻¹) e TMG 1288 RR (228,04 kg.ha⁻¹).

Na segunda época (23/01), sob baixo K, foram formados cinco grupos de médias. O cultivar TMG 1288 RR apresentou isoladamente o maior teor de Açúcares Redutores (291,37 kg.ha⁻¹), seguido de TMG 1180 RR (199,96 kg.ha⁻¹) e M 9144 RR (197,61 kg.ha⁻¹), sendo estes dois últimos pertencentes ao mesmo grupo de médias. Por outro lado, os menores teores médios foram obtidos por BRS 325 RR (78,79 kg.ha⁻¹), que também apresentou baixo valor na época I e BRS 333 RR (109,90 kg.ha⁻¹).

O estudo comparativo entre as épocas de semeadura, independentemente da adubação potássica utilizada, revelou um menor rendimento médio de Açúcares Redutores Totais para todos os cultivares quando semeados na segunda época (23/01) devido, provavelmente, a uma redução na produtividade de grãos ocasionada pelas restrições hídricas impostas pelo declínio das precipitações pluviais a partir de março (Figura 2).

Ressalta-se que os valores de rendimento médio de Açúcares Redutores devem refletir os valores de produtividade de grãos, uma vez que foram obtidos a partir do produto entre teor médio de açúcares redutores totais e produtividade de grãos.

Para Gubiani (2005), o acúmulo de matéria seca sob condições favoráveis para a cultura da soja, de certo modo, melhora a capacidade de desenvolvimento do aparato fotossintético; com isto, elevam os índices de produção e, conseqüentemente, resulta em um maior armazenamento de carboidratos no grão.

Tabela 4. Médias dos rendimentos de Açúcares Redutores Totais de sete cultivares de soja, sob dois níveis de adubação potássica em duas épocas de semeadura, na safra 2013/2014, em Palmas - TO.

Cultivar	Época I (05/12)		Época II (23/01)		Média
	Baixo K	Alto K	Baixo K	Alto K	
BRS 333 RR	397,11 aB	701,13 bA	109,90 dD	176,12 eC	346,07 b
BRS 33871 RR	410,20 aB	653,55 cA	149,93 cD	302,01 cC	378,92 a
BRS 325 RR	252,43 cB	419,11 fA	78,79 eD	138,88 fC	222,30 d
M 9144 RR	372,13 bB	564,67 dA	197,61 bD	267,54 dC	350,49 b
P 98Y70 RR	359,62 bB	534,34 eA	113,66 dD	204,94 eC	303,14 c
TMG 1180 RR	420,16 aB	639,36 cA	199,96 bD	318,95 bC	394,61 a
TMG 1288 RR	228,04 cD	775,81 aA	291,37 aC	357,27 aB	413,12 a
Média	348,53 B	612,57 A	163,03 D	252,24 C	344,09

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna constituem grupo estatisticamente homogêneo, a 5% de significância pelo teste de Scott-Knott.

Fonte: Elaboração dos autores (2015).

Eficiência no teor de Açúcares Redutores Totais (ART)

A análise de variância (Tabela 5) revelou efeito significativo de cultivar, indicando diferenças estatísticas entre os cultivares quanto ao uso do potássio. O coeficiente de variação foi considerado baixo para a característica avaliada, indicando a boa precisão do experimento (COSTA et al., 2002).

Tabela 5. Resumo da análise de variância para o índice de eficiência do uso do potássio para o teor de Açúcares Redutores Totais (%) em sete cultivares de soja, na safra 2013/2014, em Palmas - TO

Fator de Variação (FV)	Graus de Liberdade (GL)	Quadrado Médio (QM) ¹	Índice de eficiência no uso do Potássio	
		ART *	Cultivar	Índice
Bloco	7	0,021**	BRS 333 RR	0,50 b
Cultivar	6	0,014**	BRS 33871 RR	0,53 a
Erro	42	0,004	BRS 325 RR	0,63 a
Media	---	0,54	M 9144 RR	0,53 a
CV %	---	9,3	P 98Y70 RR	0,58 a
			TMG 1180 RR	0,56 a
			TMG 1288 RR	0,45b
			Média	0,54

Médias para o índice de eficiência do uso do potássio para a característica teor de Açúcares Redutores Totais de quatro características avaliadas em 07 cultivares de soja na safra 2013/14 em Palmas (TO).

¹Dados transformados em raiz quadrada de X; % ART*: Teor de açúcares redutores totais; ns: não significativo; ** significativo ao nível de 5% pelo teste F.

Fonte: Elaboração dos autores (2015).

Na Tabela 5 também são apresentados os valores médios da eficiência de uso do potássio para a característica teor de Açúcares Redutores Totais.

Os cultivares foram agrupados em dois grupos de médias. No grupo dos mais eficientes foram alocados cinco cultivares: BRS 33871 RR (0,53), M 9144 RR (0,53) e P 98Y70 RR (0,58), TMG 1180 RR (0,56) e BRS 325 RR (0,63), sendo que os três últimos apresentaram valores acima da média geral (0,54).

Os índices de eficiência são utilizados para classificar os cultivares como eficientes (índice acima da média sob alto e baixo nível de um determinado elemento mineral) e não eficientes (índice abaixo da média sob alto e baixo nível de um determinado elemento mineral), uma vez que são utilizadas as médias dos cultivares sob alto e baixo potássio (FISCHER et al., 1983).

Assim, consideram-se como eficientes os cultivares P 98Y70 RR (0,58), TMG 1180 RR (0,56) e BRS 325 RR (0,63) por pertencerem ao grupo mais eficiente e apresentarem valores acima da média geral (0,54).

Eficiência no rendimento de Açúcares Redutores Totais (RART)

A análise de variância (Tabela 6) revelou efeito não significativo para os cultivares, indicando baixa variabilidade para esta característica. O coeficiente de variação foi considerado baixo para a característica avaliada, indicando a boa precisão do experimento (COSTA et al., 2002).

Tabela 6. Resumo da análise de variância para o índice de eficiência do uso do potássio para o rendimento de Açúcares Redutores Totais ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) em sete cultivares de soja, na safra 2013/2014, em Palmas – TO.

Fator de Variação (FV)	Graus de Liberdade (GL)	Quadrado Médio (QM) ¹	Índice de eficiência para RART	
		RART *	Cultivar	Índice
Bloco	7	0,009 ^{ns}	BRS 333 RR	0,36
Cultivar	6	0,006 ^{ns}	BRS 33871 RR	0,34
Erro	42	0,004	BRS 325 RR	0,35
Media	---	0,56	M 9144 RR	0,42
CV %	---	10,95	P 98Y70 RR	0,37
			TMG 1180 RR	0,39
			TMG 1288 RR	0,34
			Média	0,37

Médias para o índice de eficiência para rendimento de Açúcar Redutores Totais de quatro características avaliadas em 07 cultivares de soja na safra 2013/14 em Palmas (TO).

¹Dados transformados em raiz quadrada de X; RART *: rendimento de açúcares redutores totais; ns: não significativo; ** significativo ao nível de 5% pelo teste F.

Fonte: Elaboração dos autores (2015).

Os cultivares que apresentaram valores acima da média geral de eficiência (0,37) foram M 9144 RR (0,42) e TMG 1180 RR (0,39) (TABELA 6). Os demais cultivares apresentaram-se como pouco eficientes para rendimento médio de Açúcares Redutores. Assim, para esta característica, pode-se inferir que os cultivares M 9144 RR e TMG 1180 RR são eficientes.

Conclusões

Em semeaduras tardias e sob alta dose de potássio ($200 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1} \text{ K}_2\text{O}$), houve um maior acúmulo de açúcares redutores totais nos grãos;

Altas temperaturas e baixos índices pluviométricos na fase de enchimento de grãos favorecem o acúmulo de açúcares redutores totais nos grãos;

Os cultivares TMG 1288 RR, sob alto e baixo potássio, e TMG 1180 RR, sob baixo potássio, são promissores para produção de etanol, sendo este último também eficiente quanto ao uso de potássio.

Potassium fertilizer and sowing in soybeans for ethanol production

The biodiesel production chain generates co-products, such as molasses, which has potential to be used for biodiesel production and can add value and generate other sources of income for producers. In this sense, the present study evaluated cultivars in different sowing times as well as the potassium use efficiency, yield and content of carbohydrates, aiming the production of ethanol production in the center-south region of Tocantins state. In the agricultural year 2013/14, four field trials cultivars were held, two installed on 05/12/2013 and two on 01/23/2014. Two potassium doses were used for each season, being one high ($200 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1} \text{ K}_2\text{O}$) and the other low ($40 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$

K₂O). We used randomized block design with four replications and seven treatments: BRS 333, BRS 33871, BRS 325, M 9144, P 98Y70, TMG 1180 and 1288 GMT. In late sowing and high doses of potassium (200 kg.ha⁻¹ K₂O), there was a greater accumulation of total reducing sugars in the grain. High temperatures and low rainfall in the grain filling stage favor the accumulation of total reducing sugars in the grain. TMG 1288 RR cultivars under high and low potassium and TMG 1180 RR under low potassium are promising choices for ethanol production, the latter being also efficient for potassium use.

Keywords: Biofuel. Potassium levels. Planting dates. Glycine max. Alcohol production.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE ÓLEO VEGETAIS-ABIOVE. **Abiove prevê produção maior de soja na safra 2016/2017**. Disponível em: <<http://revistagloborural.globo.com/Noticias/Agricultura/Soja/noticia/2016/09/abiove-preve-producao-maior-de-soja-na-safra-20162017.html>>. Acesso em: abr. 2017.

CHAVES FILHO, J. T.; STACCIARINI-SERAPHIN, E. Alteração no potencial osmótico e teor de carboidratos solúveis em plantas jovens de lobeira (*Solanum lycocarpum* St.-Hil.) em resposta ao estresse hídrico. **Revista Brasil**, Botucatu, v. 24, n. 2, p. 199-204, 2001. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbb/v24n2/a10v24n2>>. Acesso em: mar. 2015.

COSTA, N. H. A. D.; SERAPHIN, J. C.; ZIMMERMANN, F. J. P. Novo método de classificação de coeficientes de variação para a cultura do arroz de terras altas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 3, p. 243-249, 2002. Disponível em: <<http://http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-204X2002000300003&script=sci...tIng...>>. Acesso em: mar. 2015.

CRUZ, C. D. Programa Genes: **Aplicativo computacional em genética e estatística**. Versão Windows, Viçosa, UFV, p. 10-15, 2007.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa, MG: Imprensa Universitária, p. 480, 2007.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Tecnologia de produção de soja** – região central do Brasil. Londrina: Embrapa, (Sistemas de Produção, n. 16), 2013.

FEHR, W. R.; CAVINNES, C. E.; BURMOOD, D. T.; PENNINGTON, J. S. Stage of development descriptions for soybeans, *Glycine max* (L.) Merrill. **Crop Science**, Madison, v. 11, n. 6, p. 929-931, 1971. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=000131&pid=S0100...Ing...>. Acesso em: mar. 2015.

FISCHER, K. S.; JOHNSON, E. C.; EDMEADS, G. O. **Breeding and selection for drought resistance in tropical maize**. México: CIMMYT, p. 16, 1983. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=000114&pid=S1806...Ing...>. Acesso em: fev. 2015.

FLOSS, E. L. **Fisiologia das plantas cultivadas**: o estudo do que está por trás do que se vê. Passo Fundo: UPF, p. 125-207, 2011.

GUBIANI, E. I. **Crescimento e rendimento da soja em resposta à época de semeadura e arranjo de plantas**. 2005. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre, 2005. Disponível em: < <http://www.lume.ufrgs.br> > ... > Ciências Agrárias > Fitotecnia>. Acesso em: fev. 2015.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. **Mapas de precipitações acumuladas**. Disponível em: < www.inmet.gov.br/>. Acesso em: jul. 2015.

LACERDA, C. F.; ENÉAS FILHO, J.; PINHEIRO, C. B. **Fisiologia Vegetal**. Fortaleza: UFC, 2007. Disponível em: <http://www.fisiologiavegetal.ufc.br/apostila/apresentacao_da_apostila.pdf>. Acesso em: jul. 2015.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ceres, p. 30-75, 2006.

MALDONADE, I. R.; CARVALHO, P. G. B. de; FERREIRA, N. A. **Comunicado técnico 85** - Protocolo para determinação de açúcares totais em hortaliças pelo método de DNS. Brasília, 2013. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/hortalicas/busca-de-publicacoes/-/publicacao/956032/protocolo-para-determinacao-de-acucares-totais-em-hortalicas-pelo-metodo-de-dns>>. Acesso em: 05 abr. 2015.

NEUMANN, E. R.; PEREIRA, C. R.; RESENDE, J. T. V.; GOMES, A. C. S. G.; STOSKI, S. Doses de Potássio na Produção e Qualidade do Alcool de Batata Doce. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 3, p. 256- 266, 2014. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/rber/article/view/38617/0>>. Acesso em: mar. 2015

PAULA, S. A. **Influência da temperatura de cultivo e doses de fósforo no solo na composição bioquímica de sementes de soja**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011. Disponível em: <[http://www.locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/309/texto%20completo.pdf?sequence...>](http://www.locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/309/texto%20completo.pdf?sequence...)>.

REIS JÚNIOR, R. A.; MONNERAT, P. H. Exportação de nutrientes nos tubérculos de batata em função de doses de sulfato de potássio. **Horticultura Brasileira**, Brasília. v. 19, n. 9, p. 227- 231, nov. 2001. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/%0D/hb/v19n3/v19n3a15.pdf>>. Acesso em: mar. 2015.

SEDIYAMA, T.; SILVA, F.; BORÉM, A. **Soja – do plantio à colheita**. UFV, Viçosa, p. 20-85, 2015.

SIQUEIRA, P. F. **Production of bio-ethanol from soybean molasses by Saccharomyces cerevisae**. Dissertação (Mestrado em Processos Biotecnológicos) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007. Disponível em: <http://w3.ualg.pt/~sraposo/documentos/TPB_09/.../Artigo_8.pdf>. Acesso em: mar. 2015.

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. Principal Components Analysis in the Software Assisat-Statistical Attendance. In: WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 7. **Anais**. Reno-NV-USA: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2009.

STEINER, F. **Balço de potássio no sistema solo-planta influenciado pela textura e adubação potássica em solos tropicais**. Unesp, Botucatu, 2014. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/110938>>. Acesso em: 19 mar. 2015.

VIEIRA, F. C. F.; SANTOS JUNIOR, C. D.; NOGUEIRA, A. P. O.; DIAS, A. C. C.; HAMAWAKI, O. T.; BONETTI, A. M. Aspectos fisiológicos e bioquímicos de cultivares de soja submetidos a déficit hídrico induzido por Polietileno Glicol - PEG 6000. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 29, n. 2, p. 543-552, 2013. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br>> Home > Vol 29, No 3 (2013) > Freitas Vieira>. Acesso em: fev. 2015.

Histórico editorial:

Submetido em: 29/09/2016.

Aceito em: 31/05/2017.

Como citar:

ABNT

TOLLER, M.; PELUZIO, J. M.; REINA, E.; LIMA, M. D. de; HACKENHAAR, C.; HACKENHAAR, N. Adubação potássica e época de semeadura em soja para a produção de etanol. **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre, v. 10, n. 2, p. 75-88, abr./jun. Doi: <http://dx.doi.org/10.18406/2316-1817v10n220181114>

APA

TOLLER, M., PELUZIO, J. M., REINA, E., LIMA, M. D. de, HACKENHAAR, C. & HACKENHAAR, N. (2018). Adubação potássica e época de semeadura em soja para a produção de etanol. *Revista Agrogeoambiental*, 10 (2), 75-88. Doi: <http://dx.doi.org/10.18406/2316-1817v10n220181114>

ISO

TOLLER, M.; PELUZIO, J. M.; REINA, E.; LIMA, M. D. de; HACKENHAAR, C. e HACKENHAAR, N. Adubação potássica e época de semeadura em soja para a produção de etanol. *Revista Agrogeoambiental*, 2018, vol. 10, n. 2, pp. 75-88. Eissn 2316-1817. Doi: <http://dx.doi.org/10.18406/2316-1817v10n220181114>

VANCOUVER

Toller M, Peluzio JM, Reina E, Lima MD de, Hackenhaar C, Hackenhaar N. Adubação potássica e época de semeadura em soja para a produção de etanol. *Rev agrogeoambiental*. 2018 abr./jun.; 10(2): 75-88. Doi: <http://dx.doi.org/10.18406/2316-1817v10n220181114>