



ARTIGO ORIGINAL

Maria Dilma de Lima^{1*}
Joênes Mucci Peluzio¹
Flávio Sérgio Affêrri²

Correlações fenotípicas entre atributos químicos, físico-químicos e agrônômicos em soja visando à produção de biodiesel

Phenotypic correlations between chemical/physicochemical and agronomic traits in soybean aimed at the biodiesel production

¹ Universidade Federal do Tocantins – UFT, Campus Palmas, Qd 109 Norte, Av. NS-15, ALCNO-14 Plano Diretor Norte, 77001-090, Palmas, TO, Brasil

² Universidade Federal de São Carlos – UFSCar, Campus Lagoa do Sino, Aracaçu, 18295-990, Buri, SP, Brasil

*Autor Correspondente:

E-mail: mariadilma@mail.uft.edu.br

PALAVRAS-CHAVE

Glycine max

Ácidos graxos saturados

Ácidos graxos insaturados

Características agrônômicas

Associação de características

KEYWORDS

Glycine max

Saturated fatty acids

Unsaturated fatty acids

Agronomic characteristics

Association of characteristics

RESUMO: O conhecimento das associações entre atributos em programas de melhoramento é de fundamental importância, uma vez que permite identificar atributos desejáveis com redução de custos. Assim, o objetivo do trabalho foi estudar a associação entre atributos químicos e físico-químicos com os atributos agrônômicos em soja cultivada sob baixa latitude, visando à produção de biodiesel com características favoráveis. Foram conduzidos dois experimentos durante o ano agrícola 2013/2014, implantados no município de Palmas, Estado do Tocantins. O delineamento experimental utilizado, em cada experimento, foi o de blocos casualizados com dez cultivares de soja e três repetições. Foram estudados os seguintes atributos químicos: teor de óleo e de proteína; os seguintes atributos físico-químicos: ácidos graxos palmítico, esteárico, oleico, linoleico, linolênico e araquídico, somatório de ácidos graxos saturados, somatório de ácidos graxos insaturados e somatório dos ácidos linoleico e linolênico; e os seguintes atributos agrônômicos: altura das plantas, altura da inserção da primeira vagem, número de vagens por plantas, número de sementes por vagem, peso de cem sementes e rendimento de grãos. Há associação entre os atributos agrônômicos e os atributos físico-químicos dos grãos. Os atributos agrônômicos podem ser usados como indicativos de qualidade para o biodiesel. A seleção de plantas mais altas e com menor número de vagens pode propiciar a obtenção de biodiesel com características favoráveis.

ABSTRACT: The knowledge of associations between attributes in breeding programs is of fundamental importance to identifying desirable attributes with cost reduction. Thus, this study aimed to investigate the association between chemical/physicochemical attributes and agronomic traits, in soybeans grown in low latitude, aimed at producing biodiesel with favorable characteristics. Two experiments were conducted during the crop year 2013/14, in the city of Palmas, Tocantins State. Each experiment used a randomized block design, with 10 soybean cultivars and three replications. The chemical parameters studied included oil and protein content; and physicochemical parameters were fatty acids palmitic, stearic, oleic, linoleic, linolenic and arachidonic, the sum of saturated fatty acids, the sum of unsaturated fatty acids and linoleic and linolenic sum of acids. Agronomic traits included plant height, height of first pod insertion, number of pods per plants, number of seeds per pod, weight of hundred seeds and grain yield. We observed association between the agronomic traits and the physicochemical properties of the grains. The agronomic traits can be used as indicative of biodiesel quality. The selection of taller plants with fewer pods leads to the production of biodiesel with favorable characteristics.

Recebido: 22 jan. 2017

Aceito: 11 dec. 2017

1 Introdução

A soja (*Glycine L. max*), a mais importante oleaginosa cultivada no mundo, é fonte potencialmente econômica de produção de grãos de alta qualidade nutricional para alimentação humana e animal, além de ser a principal fonte para produção de biodiesel (Ramos et al., 2011), tendo amplo domínio tecnológico e geográfico.

O óleo de soja apresenta em sua composição os ácidos graxos saturados (palmítico, araquídico e esteárico) e insaturados (oleico, linoleico e linolênico), que são determinantes para a qualidade final do biodiesel, sendo desejável um menor conteúdo de ácidos graxos saturados (principalmente o palmítico) e poli-insaturados (linoleico e linolênico), uma vez que estes últimos são responsáveis pelo decréscimo na estabilidade oxidativa do óleo (Corsini et al., 2008).

Entretanto, em programas de melhoramento voltados para os atributos físico-químicos dos grãos para produção de biodiesel, em que são avaliadas centenas de cultivares, a caracterização físico-química em cada cultivar é inviável em virtude do alto custo. Assim, se esses atributos apresentarem correlações com atributos agrônômicos de fácil identificação (altura das plantas, altura da inserção da primeira vagem, entre outros), a seleção indireta para os atributos físico-químicos via atributos agrônômicos passa a ser viável.

Almeida et al. (2010) afirmaram que o conhecimento da associação entre atributos é de grande importância no melhoramento de qualquer espécie, principalmente quando a seleção de um deles apresenta dificuldades devido à baixa herdabilidade ou a problemas de medição.

Segundo Carvalho et al. (2004), uma correlação alta entre dois atributos permite a seleção para um atributo de interesse, principalmente quando este possui herança complexa, por meio de outro atributo correlacionado e de mais fácil mensuração. Essa estratégia permite obter progressos mais rápidos em relação ao uso de seleção direta, de forma que otimize os ganhos nos programas de melhoramento genético.

Assim, foi proposto este estudo tendo em vista que o conhecimento das associações entre os atributos físico-químicos com os atributos agrônômicos podem ser úteis em programas de melhoramento da soja, visando à produção de biodiesel com características desejáveis.

2 Material e Métodos

No ano agrícola de 2013/2014, foram realizados dois 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), com as semeaduras efetuadas em 5 de dezembro de 2013 e 23 de janeiro de 2014, em solo do tipo Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, sem histórico de cultivo com culturas anuais.

Na área experimental, foram coletadas 20 amostras de solo na profundidade de 0-20 cm, as quais foram homogeneizadas, e uma delas de 1 kg foi enviada ao laboratório para análises química e física do solo. Os teores obtidos foram: pH, 4,1; Al, 0,5 cmol dm⁻³; K, 14,0 mg dm⁻³; P (Melich), 1,5 mg dm⁻³; Ca, 0,7 cmol dm⁻³; Mg, 0,5 cmol dm⁻³; MO, 12,0 g dm⁻³; CTC,

4,6 cmol dm⁻³; e SB, 26,7%. As análises foram realizadas de acordo com o método Embrapa de análise do solo (Silva, 2009).

O delineamento experimental utilizado em cada ensaio foi de blocos casualizados, com dez diferentes tratamentos e três repetições. Os tratamentos foram representados pelas cultivares de soja BRS 325RR, M 9144RR, BRS 33871RR, TMG 1288RR, BRS 333RR, P 98Y70RR, TMG 1180RR, BRS 9090RR, M 8766RR e BRS 8990RR, todas resistentes ao glyphosato e com potencial de cultivo para o Estado do Tocantins.

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, assim, uma área de 3,69 m²; no entanto, no momento da colheita, 0,45 m da ponta de cada linha central foi descartado.

Após análise prévia do solo e utilizando o método de neutralização do Al³⁺ e suprimento de Ca²⁺ e Mg²⁺, foi realizada a calagem com duas toneladas de calcário dolomítico Filler/ha (PRNT de 90%), que foi aplicado a lanço 30 dias antes da semeadura e incorporado ao solo. Posteriormente, foi efetuado o preparo do solo, que consistiu das operações de aração, gradagem e sulcamento.

Com base nos resultados da análise química do solo, foi utilizada adubação fosfatada com 150 Kg ha⁻¹ de P₂O₅ ha⁻¹, aplicada no fundo do sulco de semeadura, na formulação superfosfato simples (750 Kg ha⁻¹), e adubação potássica com 120 Kg ha⁻¹ de K₂O (Lopes, 1994), sendo metade aplicada no fundo do sulco de semeadura e metade aos 35 dias após a emergência das plantas, na formulação cloreto de potássio (200 Kg ha⁻¹).

No momento da semeadura, foi realizado o tratamento das sementes com fungicidas, seguido de inoculação com estirpes de *Bradyrhizobium japonicum*. A densidade de semeadura foi realizada para obtenção de 10 a 14 plantas por metro linear após o desbaste, de acordo com as cultivares.

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).

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 atributos físico-químicos (composição dos ácidos graxos) e químicos (teor de proteína e teor de óleo).

Os ácidos graxos foram analisados por cromatografia gasosa (CG) de acordo com o método oficial da American Oil Chemists' Society (Walker, 1986). A identificação dos ácidos graxos foi realizada por comparação com os padrões analisados nas mesmas condições. Foram mapeados seis ácidos graxos, sendo três saturados, palmítico (PAL), esteárico (EST) e araquídico (ARA), e três insaturados, oleico (OLE), linoleico (EICO) e linolênico (NICO).

Os teores de óleo (TO) e de proteína (TP) foram obtidos pela técnica da Refletância do Infravermelho Próximo (NIR), segundo Heil (2012).

Com base na área útil da parcela, foram obtidos os seguintes atributos agronômicos nas plantas:

- Altura das plantas (AP): distância, em cm, medida a partir da superfície do solo até a extremidade da haste principal da planta, obtida na época da maturação, em dez plantas da área útil;
- Altura da inserção da primeira vagem (A1V): distância, em cm, medida a partir da superfície do solo à inserção da primeira vagem, obtida na época de maturação, em dez plantas da área útil;
- Número de vagens por plantas (NVP): número de vagens, obtidas na época de maturação, em dez plantas competitivas da área útil;
- Número de sementes por vagem (NSV): número de sementes, obtidas na época da maturação, em dez plantas competitivas da área útil;
- Peso de 100 sementes (PCS): peso, em gramas, obtido em cem sementes após secagem dos grãos até, aproximadamente, 12% de umidade;
- Rendimento de grãos (RG): peso obtido, em gramas por parcela, após a secagem e realizada a transformação para Kg ha⁻¹.

Para cada atributo estudado, foram realizadas a análise de cada um dos ensaios e, em seguida, a análise conjunta dos ensaios, em que o menor quadrado médio residual não diferiu por mais de sete vezes do maior quadrado médio (Cruz et al., 2012), obtendo-se os coeficientes de correlação fenotípica para cada par de atributos.

Segundo Lopes et al. (2002), existe uma convergência entre os melhoristas de plantas de se valorizarem mais o sinal (positivo ou negativo) e a magnitude dos valores na interpretação aplicada das correlações, valorizando as estimativas abaixo de -0,5 e acima de 0,5. Nesse sentido, no estudo, foram consideradas e valorizadas as correlações dessa magnitude.

As análises foram realizadas utilizando o programa Computacional GENES, versão 2007 (Cruz, 2007).

3 Resultados e Discussão

As estimativas das correlações fenotípicas entre os atributos químicos e físico-químicos com os atributos agronômicos encontram-se na Tabela 1.

A altura das plantas (AP) apresentou correlações positivas e elevadas com o ácido graxo insaturado oleico e com o somatório de ácidos graxos insaturados, e correlações negativas com os ácidos palmítico e linolênico e com o somatório de ácidos graxos saturados, indicando que, em programas de melhoramento, a seleção de plantas mais altas possivelmente resultará em incrementos nos teores de ácido oleico e no somatório de ácidos graxos insaturados, assim como uma redução nos teores de ácidos palmítico e linolênico e no somatório de ácidos graxos saturados.

Essas correlações com AP podem ser interessantes para a produção de biodiesel, uma vez que a melhor qualidade e um maior rendimento do biodiesel estão associados a uma maior concentração de ácidos graxos monoinsaturados (oleico), presença reduzida de ácidos poli-insaturados (linoleico e linolênico) (Pinzi et al., 2009) e baixos teores de ácidos saturados, principalmente o palmítico (Ribeiro, 2011).

O ácido oleico melhora a estabilidade oxidativa e permite uma boa fluidez do óleo, mesmo sob baixas temperaturas (Pinzi et al., 2009; Knothe, 2010), enquanto os ácidos poli-insaturados, principalmente o linolênico, reduzem a estabilidade oxidativa do óleo (Bachlava et al., 2008; Gerde et al., 2007; Knothe, 2007, 2010; Farhoosh et al., 2009; Ramos et al., 2009; Santos et al., 2013). A instabilidade oxidativa promove um ranço e aroma estranhos nos produtos alimentares e o acúmulo de materiais viscosos em biodiesel derivado de soja que entope os filtros de óleo (Canakci et al., 1999).

Tabela 1. Estimativas dos coeficientes de correlação fenotípica (F) entre os atributos químicos e físico-químicos com atributos agronômicos em dez cultivares de soja, em ensaios realizados no ano agrícola de 2013/2014, em Palmas/TO.

Table 1. Estimates of the Phenotypic correlation coefficients (F) between the chemical and physical-chemical attributes with agronomic attributes in 10 soybean cultivars, in trials conducted in the agricultural year of 2013/14, in Palmas-TO.

Atributos químicos e físico-químicos	Atributos agronômicos					
	AP	A1V	NVP	NSV	PCS	RG
PAL	-0,648	-0,084	0,539	0,029	-0,500	-0,331
EST	-0,278	-0,074	0,577	-0,032	-0,477	0,626
OLE	0,525	0,203	-0,540	0,266	0,266	-0,171
EICO	-0,470	-0,185	0,450	-0,330	-0,191	0,164
NICO	-0,502	-0,303	0,591	-0,058	-0,182	0,103
ARA	-0,417	-0,122	0,436	0,096	-0,556	0,520
∑ SAT	-0,627	-0,108	0,755	-0,003	-0,659	0,196
∑ INS	0,627	0,108	-0,755	0,003	0,659	-0,196
EICO+NICO	-0,478	-0,205	0,475	-0,289	-0,191	0,155
TO	0,479	0,217	-0,234	-0,030	0,237	0,285
TP	-0,366	-0,366	-0,399	0,020	-0,249	-0,474

PAL = Ácido Graxo Palmítico; EST = Ácido Graxo Estearico; OLE = Ácido Graxo Oleico; EICO = Ácido Graxo Linoleico; NICO = Ácido Graxo Linolênico; ARA = Ácido Araquídico; ∑ SAT = Somatório de Ácidos Graxos Saturados (palmítico + estearico + araquídico); ∑ INS = Somatório de Ácidos Graxos Insaturados (oleico + linoleico + linolênico); EICO+NICO = Somatório dos Ácidos Linoleico mais Linolênico; TO = Teor de Óleo; TP = Teor de Proteína; AP = Altura das Plantas; A1V = Altura da Inserção da Primeira Vagem; NVP = Número de Vagens por Plantas; NSV = Número de Sementes por Vagem; PCS = Peso de Cem Sementes; RG = Rendimento de Grãos.

Para os atributos altura da inserção da primeira vagem (A1V) e o número de sementes por vagem (NSV), todas as correlações foram de baixa magnitude, indicando a pouca relevância de uso deles, quando em associação com os atributos físico-químicos, em programas de melhoramento da soja, visando à produção de biodiesel com características desejáveis.

O número de vagens por plantas (NVP) apresentou correlação significativa com os ácidos graxos saturados palmítico e esteárico, com o somatório de ácidos graxos saturados e com o ácido linolênico, mas correlações negativas com ácido oleico e somatório de ácidos graxos insaturados.

Nesse sentido, a seleção de plantas com um menor número de vagens possivelmente resultaria em biodiesel de melhor qualidade, uma vez que essas plantas teriam simultaneamente maior conteúdo de ácido oleico e esteárico e um menor conteúdo de ácido linolênico no óleo.

O peso de cem sementes (PCS) apresentou correlação negativa com os ácidos palmítico e araquídico e com o somatório de ácidos graxos saturados, mas positiva com o somatório dos ácidos insaturados. Entretanto, por ter apresentado associações de baixa magnitude com cada um dos ácidos insaturados, seu uso não é vantajoso visando à identificação dos atributos físico-químicos desejáveis para a produção de biodiesel.

O rendimento de grãos (RG) teve associação positiva, de magnitude considerável, apenas com os ácidos esteárico e araquídico, e de baixa magnitude com os demais ácidos. Assim, de modo similar ao PCS, seu uso também não resulta em ganhos visando à seleção de atributos físico-químicos desejáveis.

Ressalta-se que todos os atributos agrônômicos apresentaram correlações de baixa magnitude com o teor de óleo (TO) e com o teor de proteína (TP) dos grãos de soja.

4 Conclusões

Há associação entre os atributos agrônômicos com alguns atributos físico-químicos dos grãos.

A correlação sugere que plantas mais altas e com menor número de vagens podem propiciar a obtenção de biodiesel com características favoráveis.

Os atributos agrônômicos podem ser usados como indicativos de qualidade para o biodiesel.

Referências

ALMEIDA, R. D.; PELUZIO, J. M.; AFFERRI, F. S. Correlações fenotípicas, genotípicas e ambientais em soja cultivada sob condições várzea irrigada, sul do Tocantins. *Bioscience Journal*, v. 26, p. 95-99, 2010.

BACHLAVA, E.; BURTON, J. W.; BROWNIE, C.; WANG, S.; SANBAO, J.; CARDINAL, A. J. Heritability of oleic acid content in soybean seed oil and its genetic correlation with fatty acid and agronomic traits. *Crop Science*, v. 48, p. 1764-1772, 2008.

CANAKCI, M.; MONYEM, A.; VAN GERPEN, J. Accelerated oxidation processes in biodiesel. *Transactions of the ASAE*, v. 42, p. 1565-1572, 1999.

CARVALHO, F. I. F.; LORENCETTI, C.; BENIN, G. Estimativas e implicações da correlação no melhoramento vegetal. Pelotas: Editora e Gráfica Universitária – UFPel, 2004. 141 p.

CORSINI, M. S.; JORGE, N.; DE MIGUEL, A. M. R. O.; VICENTE, E. Perfil de ácidos graxos e avaliação da alteração em óleos de fritura. *Química Nova*, v. 31, p. 27-31, 2008.

CRUZ, C. D. Programa genes: aplicativo computacional em genética e estatística. Viçosa: Editora UFV, 2007. 648 p.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. Viçosa: Editora UFV, 2012. 514 p.

FARHOOSH, R.; EINAFSHAR, S.; SHARAYEI, P. The effect of commercial refining steps on the rancidity measures of soybean and canola oils. *Food Chemistry*, v. 115, p. 933-938, 2009.

FEHR, W. R.; CAMVINESS, C. E.; BURMOOD, D. T.; PENNINGTON, J. S. Stage of development descriptions for soybean *Glycine max* (L.) Merrill. *Crop Science*, v. 11, p. 929-931, 1971.

GERDE, J.; HARDY, C.; FEHR, W.; WHITE, P. J. Frying performance of no-trans, low-linolenic acid soybean oils. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, v. 84, p. 557-563, 2007.

HEIL, C. Rapid, multi-component analysis of soybeans by FT-NIR spectroscopy. USA: Thermo Fisher Scientific, 2012. Application - Note: 51954.

KNOTHE, G. Some aspects of biodiesel oxidative stability. *Fuel Processing Technology*, v. 88, p. 669-677, 2007.

KNOTHE, G. Biodiesel derived from a model oil enriched in palmitoleic acid, macadamia nut oil. *Energy & Fuels*, v. 24, p. 2098-2103, 2010.

LOPES, A. S. SOLOS SOB CERRADO: MANEJO DA FERTILIDADE PARA PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA. SÃO PAULO: ANDA, 1994. 62 P.

LOPES, A. C. A.; VELLO, N. A.; PANDINI, F.; ROCHA, M. M.; TSUTSUMI, C. Y. Variabilidade e correlações entre caracteres em cruzamentos de soja. *Scientia Agrícola*, v. 59, p. 341-348, 2002.

PINZI, S.; GARCIA, I. L.; LOPEZ-GIMENEZ, F. J.; LUQUE DE CASTRO, M. D.; DORADO, G.; DORADO, M. P. The Ideal vegetable oil-based biodiesel composition: a review of social, economical and technical implications. *Energy & Fuels*, v. 23, p. 2325-2341, 2009.

RAMOS, L. P.; SILVA, F. R.; MANGRICH, A. S.; CORDEIRO, C. S. Tecnologias de Produção de Biodiesel. *Revista Virtual de Química*, v. 3, p. 385-405, 2011.

RAMOS, M. J.; FERNÁNDEZ, C. M.; CASAS, A.; RODRÍGUEZ, L.; PÉREZ, A. Influence of fatty acid composition of raw materials on biodiesel properties. *Bioresource Technology*, v. 100, p. 261-268, 2009.

RIBEIRO, K. O. *Caracterização de germoplasma de soja quanto aos teores de proteína, óleo e ácidos graxos*. 2011. 151 f. Tese (Doutorado em Agronomia)-Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2011.

SANTOS, E. M.; PIOVESAN, N. D.; BARROS, E. G.; MOREIRA, M. A. Low linolenic soybeans for biodiesel: characteristics, performance and advantages. *Fuel*, v. 104, p. 861-864, 2013.

SILVA, F. C. *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes*. Brasília: Embrapa, 2009. 627 p.

WALKER, R. O. Methods and recommended practices of the American Oil Chemists' Society. *American Oil Chemists' Society*, v. 3, p. 1-57, 1986.

Contribuição dos autores: O artigo é resultado de pesquisa dos autores.

Fonte de financiamento: Não houve fonte de financiamento.

Conflito de interesse: Os autores declaram não haver conflito de interesse.