

Teor de óleo e composição de ácidos graxos em sementes de diferentes genótipos de algodoeiro

Oil content and fatty acid composition of cottonseeds from different genotypes

Rose Marry Araújo Gondim-Tomaz^{1*}, Norma de Magalhães Erismann², Edivaldo Cia³, Julio Isao Kondo³, Milton Geraldo Fuzatto³, Cassia Regina Limonta Carvalho¹

¹Instituto Agrônomo (IAC), Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Recursos Genéticos Vegetais, Campinas/SP - Brasil

²Instituto Agrônomo (IAC), Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Ecofisiologia e Biofísica, Campinas/SP - Brasil

³Instituto Agrônomo (IAC), Centro de Análise e Pesquisa Tecnológica do Agronegócio de Grãos e Fibras, Campinas/SP - Brasil

*Corresponding Author

Rose Marry Araújo Gondim-Tomaz, Instituto Agrônomo (IAC), Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Recursos Genéticos Vegetais, Av. Barão de Itapura, 1481, CEP: 13020-902, Campinas/SP - Brasil, e-mail: gondim@iac.sp.gov.br

Cite as: *Oil content and fatty acid composition of cottonseeds from different genotypes. Braz. J. Food Technol., v. 19, e2015071, 2016.*

Received: Sept. 24, 2015; Accepted: Sept. 20, 2016

Resumo

O caroço de algodão, subproduto do beneficiamento da fibra, constitui importante matéria-prima para a indústria de óleos comestíveis e para a produção de biodiesel. O objetivo deste trabalho foi verificar a existência de diversidade genética para as características do óleo, em cultivares e linhagens de algodoeiro disponíveis no Brasil. O teor de óleo e sua composição em ácidos graxos foram determinados em sementes de 18 genótipos de algodoeiro, cultivadas em três localidades distintas no Brasil. A extração de óleo foi feita com hexano e os ácidos graxos foram obtidos por esterificação metílica e analisados por cromatografia gasosa. As análises de variância mostraram, tanto para o teor de óleo quanto para a composição dos ácidos graxos, diferenças significativas entre genótipos e entre locais, bem como significância para a interação genótipos x locais. Na média das três localidades, o teor de óleo variou entre genótipos de 23% a 27%. O ácido linoleico variou de 55,6% a 59%; o palmítico, de 22,7% a 24,8%; o oleico, de 13,4% a 15,8%; e o esteárico, de 1,83% a 2,14%. A faixa de diversidade genética para os ácidos graxos, embora estatisticamente significativa, não é suficientemente ampla para a realização de programas de melhoramento genético. Os genótipos FMT 523, FIBERMAX 966, IAC 06/205 e LD CV 22 destacam-se dos demais por possuir maior teor de ácidos oleico e palmítico e menor teor de ácido linoleico, o que os torna mais indicados para produção de biodiesel e uso como óleo de fritura, pela maior estabilidade oxidativa conferida por essa composição.

Palavras-chave: *Gossypium hirsutum*; Óleo de algodão; Cultivares; Ácido oleico; Ácido linoleico.

Summary

Cottonseed is a by-product of the production of fibre and an important raw material for the edible oil industry and for biodiesel production. The aim of this study was to evaluate the genetic diversity of the cotton cultivars and strains available in Brazil, with respect to the oil characteristics. The oil content and fatty acid composition were determined in the seeds of 18 cotton genotypes, cultivated in three distinct localities in Brazil. The oil was extracted from the seeds using hexane, and the fatty acids analysed by gas chromatography after methylation. The analyses of variance of the results for oil content and fatty acid composition revealed highly significant differences between the genotypes and locations and for the genotypes x locations interactions. The average oil content from the three distinct localities varied from 23 to 27% amongst the genotypes. The fatty acids presented the following ranges: linoleic (55.6-59.0%); palmitic (22.7-24.8%); oleic (13.4-15.8%) and stearic (1.83-2.14%). Although statistically significant, the range of genetic diversity for the fatty acids was not sufficiently wide to carry out genetic improvement programs. The genotypes FMT 523, FIBERMAX 966, IAC 06/205 and LD CV 22 stood out from the others for having higher oleic and palmitic acid contents and lower linoleic acid contents, thus being more suitable for biodiesel production and for use as frying oil, due to the greater oxidative stability provided by this composition.

Keywords: *Gossypium hirsutum*; Cottonseed oil; Cultivars; Oleic acid; Linoleic acid.



Teor de óleo e composição de ácidos graxos em sementes de diferentes genótipos de algodoeiro

Gondim-Tomaz, R. M. A. et al.

1 Introdução

A cultura do algodoeiro é orientada para produção de fibra. Além disso, no beneficiamento da fibra, obtém-se o caroço como principal subproduto, que, por ser rico em óleo, serve de matéria-prima para a indústria de óleos e gorduras. A torta e o farelo, obtidos do processamento do caroço, são utilizados como complementação de rações balanceadas. Os principais componentes do óleo de algodão são: ácido linoleico (46,7%-58,2%) e palmítico (21,4%-26,4%) em maior porcentagem, seguidos por ácido oleico (14,7%-21,7%) e esteárico (2,1%-3,3%), de acordo com o Codex Alimentarius (FAO; WHO, 2015).

Na indústria alimentícia, o óleo de algodão é considerado de boa qualidade para processos de frituras e para o desenvolvimento de produtos livres de gorduras *trans* (CORSINI et al., 2008). A presença de elevado teor de ácidos graxos saturados (principalmente palmítico) torna o óleo relativamente estável à oxidação, sem a necessidade de hidrogenação parcial (O'BRIEN; WAKELYN, 2005). Entretanto, o alto teor de ácido palmítico não é considerado tão saudável, por ter a propriedade de aumentar a fração LDL (low density lipoprotein) do colesterol, resultando num aumento da relação LDL/HDL (COX et al., 1995). Já o óleo com maior quantidade de ácidos graxos poli-insaturados (ácido linoleico), embora saudável, sofre mais alterações oxidativas durante o processo de fritura. Atualmente procura-se melhorar a qualidade nutricional do óleo de algodão, visando diminuir a porcentagem de ácido palmítico e aumentar a de ácido oleico e esteárico (LIU et al., 2002).

Além da sua importância na indústria alimentícia, o óleo de algodão também é matéria-prima para a produção de biocombustíveis, ocupando, no Brasil, o terceiro lugar na produção de biodiesel, atrás apenas da soja e do sebo (CREMONEZ et al., 2015; BIODIESELBR, 2006; MOTTA, 2014). A produção de algodão, com esse objetivo complementar à produção de fibra, vem sendo incentivada pelo governo em lavouras familiares, como uma alternativa para a geração de milhares de empregos em regiões muito pobres do País (FARIA et al., 2013).

A qualidade do biodiesel e suas propriedades são altamente dependentes da matéria-prima utilizada, da composição de ácidos graxos e do processo de conversão do biodiesel (KNOTHE, 2008). Na busca do biodiesel de composição ideal para um melhor rendimento do motor, é aconselhável que o óleo vegetal tenha um alto teor de ácidos graxos monoinsaturados (ácidos oleico e palmítico), moderado teor dos ácidos graxos saturados e redução dos poli-insaturados (ácido linoleico). A presença de ácidos graxos monoinsaturados na mistura de biodiesel melhora a estabilidade oxidativa e o desempenho a baixas temperaturas. Os ácidos graxos saturados na mistura aumentam o índice cetano e a estabilidade do biodiesel

(PINZI et al., 2009; RAMOS et al., 2009; ASHRAFUL et al., 2014).

O aumento da demanda do óleo de algodão tem motivado a realização de estudos e de trabalhos de melhoramento genético, tanto no exterior (LUKONGE et al., 2007; KHAN et al., 2010) como no Brasil (GONDIM-TOMAZ et al., 1998; CARVALHO et al., 2010; FARIA et al., 2013), visando à elevação do teor de óleo no caroço de algodão, contudo, sem considerar a sua composição em ácidos graxos. Esta é essencial e depende tanto do genótipo quanto do ambiente em que os grãos são cultivados (LUKONGE et al., 2007; DOWD et al., 2010), influenciando as características do óleo e/ou do biodiesel produzidos.

Em outros países, foram realizados alguns estudos dos componentes dos ácidos graxos (LUKONGE et al., 2007; DOWD et al., 2010), inclusive utilizando técnicas de engenharia genética (CHAPMAN et al., 2001; LIU et al., 2002), visando obter óleo com alto teor de ácido oleico em detrimento do linoleico. Nesse contexto, este trabalho teve por objetivo verificar a existência de diversidade genética para o teor de óleo e a composição de ácidos graxos em cultivares e linhagens de algodoeiro, disponíveis no Brasil, e a influência do ambiente em que foi cultivado sobre tais atributos.

2 Material e métodos

Experimentos de campo com 18 genótipos de algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.), compreendendo cultivares e linhagens avançadas (FMT 701, FMT 523, CNPA GO 2005-809, CNPA MT 04-2080, EPAMIG 110403, FIBERMAX 910, FIBERMAX 993, LD CV 22, LD 99012021, IMA 03 – 1318, IPR 140, IPR JATAÍ, CNPA BA 2003- 2059, DP 604 BG, IAC 06/205, FIBERMAX 966, IAC 25 RMD e NUOPAL) foram conduzidos em Campinas-SP (22°54'20"S, 47°03'39"W a 674 m de altitude média), Londrina-PR (23°18'37"S, 51°09'46" a 610 m de altitude média) e Primavera do Leste – MT (15°33'32"S, 54°17'46"W a 585 m de altitude média). Esses genótipos já foram selecionados pelas suas características agrônomicas, alta produtividade e qualidades tecnológicas da fibra (CIA et al., 2011).

As plantas foram cultivadas na estação quente e chuvosa, de novembro a maio em Londrina e Campinas, e de janeiro a junho em Primavera do Leste, no ano agrícola de 2008/2009. Em Campinas, Londrina e Primavera do Leste, a temperatura média mensal variou entre 25,2 e 20,7 °C (IAC); 24,3 e 19,0 °C (IAPAR); 24,1 e 20,9 °C (IMA-MT), respectivamente. A precipitação acumulada no período, nos mesmos locais, foi de 818 mm, 1308 mm e 1230 mm, respectivamente.

Os experimentos foram delineados em blocos ao acaso, com cinco repetições e parcelas experimentais constituídas por uma linha de 5 m, contendo 35 plantas. Embora em ambientes distintos, tais experimentos foram conduzidos com bom nível tecnológico, sem grandes

Teor de óleo e composição de ácidos graxos em sementes de diferentes genótipos de algodoeiro

Gondim-Tomaz, R. M. A. et al.

diferenças quanto ao uso de insumos e tratamentos culturais. Amostras de 20 capulhos por parcela foram coletadas no terço médio das plantas, em toda a extensão da parcela, para cada genótipo e localidade.

As análises de óleo foram feitas a partir de amostras compostas, provenientes das cinco repetições de campo. Depois do deslignamento com ácido sulfúrico de acordo com Gondim-Tomaz et al. (1998), a amostra composta foi subdividida em duas subamostras.

Para as determinações do teor de óleo, foram moídas 10 g de sementes e o óleo foi extraído com hexano em extrator *Butt* por 8 horas. Depois desse período, o solvente foi evaporado e os balões, com óleo extraído, foram secos em estufa ventilada a 100 °C e pesados. O teor de óleo foi, então, determinado pela diferença de massas e expresso em base seca, conforme exposto por Carvalho et al. (1990).

Os ácidos graxos, que compõem os triglicerídeos do óleo, foram preparados a partir da saponificação, seguida de esterificação, obtendo-se metil ésteres (HARTMAN; LAGO, 1973). O perfil de ésteres metílicos de ácidos graxos foi determinado por cromatografia gasosa, com base no método AOAC 996.06 (AOAC, 2002) e empregando-se um cromatógrafo SHIMADZU, GC 2010, equipado com injetor automático AOC – 20i, detector de ionização de chama (FID) e coluna capilar da RESTEK Rtx-2330 (105m x 0,25mm x 0,20 µm). Foram injetados 2 µL dos ésteres metílicos de ácidos graxos, no modo *Split*, numa razão de 1:50. O gás hidrogênio foi empregado como gás de arraste, na vazão de 1 mL min⁻¹, e o nitrogênio em conjunto com hidrogênio e o ar sintético foram usados para o sistema de detecção, nas vazões respectivas de 30, 30 e 300 mL min⁻¹. As temperaturas do injetor e detector foram fixadas, respectivamente, em 225 e 250 °C, registrando-se uma corrida cromatográfica de 50,33 minutos, com programação do gradiente de temperatura da coluna para: 140 °C (4 min); de 140 °C a 240 °C (3 °C min⁻¹), permanecendo a 240 °C por mais 13 min.

A identificação dos ésteres metílicos foi realizada comparando-se os seus tempos de retenção com os tempos de retenção dos padrões analíticos (SUPELCO, composto por uma mistura de 37 ésteres metílicos de ácidos graxos) e a quantificação foi realizada aplicando-se o método de normalização da área. O percentual relativo dos ácidos graxos detectados pela cromatografia foi determinado para os ácidos mirístico (C 14:0), palmítico (C 16:0), palmitoleico (C 16:1), esteárico (C 18:0), oleico (C 18:1), linoleico (C 18:2), eicosenoico (C 20:1). O total de ácidos graxos insaturados foi calculado a partir da soma de palmitoleico (C 16:1), oleico (C 18:1), linoleico (C 18:2), eicosenoico (ou gadoleico; C 20:1).

A avaliação estatística dos resultados do teor de óleo e dos ácidos graxos baseou-se em análises conjuntas

considerando-se três locais, 18 genótipos e duas repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância e ao teste de agrupamento de médias de Scott & Knott a 5% de probabilidade. A análise de correlação entre o teor de óleo e seus componentes foi feita pelo método de Pearson a 5% e 1% de probabilidade.

3 Resultados e discussão

Os resultados da média dos três locais, dos ácidos graxos e do teor de óleo em base seca revelaram diferenças altamente significativas entre genótipos (Tabela 1). Pelo teste de agrupamento de médias (Scott & Knott a 5%), os componentes em que os genótipos se distribuíram em maior número de grupos de desempenho (7) foram os ácidos mirístico e oleico, seguidos pelo linoleico em que 6 grupos foram constituídos. O teor de óleo revelou quatro grupos, variando de 23,0% a 27,0%, com uma média de 24,8%. Este resultado está dentro da faixa relatada para o algodoeiro por outros autores (GONDIM-TOMAZ et al., 1998; LUKONGE et al., 2007; QUAMPAH et al., 2012; FARIA et al., 2013).

Para os ácidos graxos, as maiores variações ocorreram com os ácidos linoleico (55,6% a 59,0%), oleico (13,4% a 15,8%) e palmítico (22,7% a 24,8%). A variação para os outros ácidos analisados foi: para o mirístico (0,529%-0,774%), para o palmitoleico (0,367%-0,433%), e para o esteárico (1,83%-2,14%). Já para o ácido eicosenoico, que não consta na Tabela 1, a variação foi de 0,0455%-0,0552% e não houve diferenças significativas entre os genótipos. Estas variações foram menores que as relatadas por Dowd et al. (2010) para genótipos americanos, mas situando-se dentro das faixas de valores encontradas para genótipos de algodoeiro de vários países (LUKONGE et al., 2007; DOWD et al., 2010). Os resultados indicaram que os genótipos de algodoeiro variaram modestamente em relação aos ácidos graxos, sendo que os intervalos de variação de alguns ácidos graxos (esteárico e oleico) apresentaram valores ligeiramente menores e o do ácido linoleico ligeiramente maior que os especificados pelo Codex Alimentarius para o óleo de algodão (FAO; WHO, 2015). Essas pequenas variações em relação ao Codex podem ser devido aos diferentes genótipos estudados, ao efeito do ambiente e ao método de esterificação aplicado, o qual é diferenciado do método de transesterificação (ISO 5509) indicado pelo Codex (MILINSK et al., 2011). Dowd et al. (2010) também obtiveram valores fora da faixa de especificação do Codex, para vários ácidos graxos, sendo essas variações associadas aos efeitos de genótipo e ambiente.

Os ácidos graxos saturados totais (ácido mirístico, palmítico e esteárico) variaram de 25,3% a 27,4% e os insaturados totais, incluindo os monoinsaturados (ácido palmitoleico e oleico) e poli-insaturado (ácido linoleico), variaram de 71,8% a 74,0%, com médias de

Teor de óleo e composição de ácidos graxos em sementes de diferentes genótipos de algodoeiro

Gondim-Tomaz, R. M. A. et al.

Tabela 1. Médias do teor de óleo (em base seca) e percentual relativo dos ácidos graxos extraídos de sementes de 18 genótipos de algodoeiro⁽¹⁾.

| Genótipos | Óleo | C 14:0 | C 16:0 | C 16:1 | C 18:0 | C 18:1 | C 18:2 | AGS | AGI |
|-----------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | | | | | | | | | |
| CNPAMT04-2080 | 27,0 ^a | 0,529 ^g | 23,3 ^c | 0,388 ^c | 2,14 ^a | 14,2 ^d | 58,7 ^a | 25,9 ^b | 73,4 ^a |
| EPAMIG 110403 | 26,8 ^a | 0,613 ^e | 23,2 ^c | 0,424 ^a | 2,02 ^b | 14,7 ^c | 58,2 ^b | 25,9 ^b | 73,4 ^a |
| IPR 140 | 25,5 ^b | 0,675 ^c | 24,0 ^b | 0,399 ^b | 1,89 ^d | 14,0 ^e | 58,2 ^b | 26,6 ^a | 72,7 ^b |
| IPR JATAÍ | 25,5 ^b | 0,610 ^e | 22,7 ^c | 0,420 ^a | 2,01 ^b | 15,0 ^b | 58,5 ^b | 25,3 ^b | 74,0 ^a |
| FIBERMAX 966 | 25,1 ^c | 0,677 ^c | 24,8 ^a | 0,427 ^a | 1,99 ^b | 15,7 ^a | 55,6 ^f | 27,4 ^a | 71,8 ^c |
| LD CV 22 | 24,9 ^c | 0,659 ^d | 24,2 ^a | 0,407 ^b | 1,95 ^c | 15,1 ^b | 56,8 ^d | 26,9 ^a | 72,4 ^c |
| LD 99012021 | 24,9 ^c | 0,656 ^d | 23,8 ^b | 0,401 ^b | 2,13 ^a | 14,6 ^c | 57,6 ^c | 26,6 ^a | 72,7 ^b |
| DP 604 BG | 24,9 ^c | 0,563 ^f | 23,9 ^b | 0,397 ^b | 1,99 ^b | 13,4 ^g | 58,9 ^a | 26,4 ^a | 72,8 ^b |
| IAC 25 RMD | 24,9 ^c | 0,689 ^c | 24,1 ^b | 0,433 ^a | 1,87 ^d | 14,8 ^c | 57,3 ^c | 26,7 ^a | 72,6 ^b |
| NUOPAL | 24,7 ^c | 0,593 ^e | 23,7 ^b | 0,367 ^c | 2,05 ^b | 14,1 ^d | 58,5 ^b | 26,3 ^b | 73,0 ^a |
| FMT 523 | 24,6 ^c | 0,680 ^c | 24,2 ^a | 0,408 ^b | 1,91 ^c | 15,8 ^a | 56,2 ^e | 26,8 ^a | 72,4 ^c |
| IMA 03 – 1318 | 24,6 ^c | 0,732 ^b | 24,3 ^a | 0,409 ^b | 2,05 ^b | 14,2 ^d | 57,4 ^c | 27,1 ^a | 72,1 ^c |
| IAC 06/205 | 24,5 ^c | 0,774 ^a | 24,3 ^a | 0,418 ^a | 1,83 ^d | 15,1 ^b | 56,8 ^d | 26,9 ^a | 72,3 ^c |
| FIBERMAX 993 | 24,3 ^c | 0,642 ^d | 23,9 ^b | 0,371 ^c | 1,92 ^c | 14,7 ^c | 57,7 ^c | 26,5 ^a | 72,8 ^b |
| CNPAGO2005-809 | 24,1 ^d | 0,674 ^c | 23,4 ^c | 0,418 ^a | 2,01 ^b | 14,0 ^e | 58,7 ^a | 26,1 ^b | 73,2 ^a |
| FMT 701 | 23,9 ^d | 0,600 ^e | 23,2 ^c | 0,382 ^c | 2,05 ^b | 14,1 ^d | 58,9 ^a | 25,8 ^b | 73,5 ^a |
| CNPABA2003-059 | 23,5 ^d | 0,590 ^e | 23,4 ^c | 0,418 ^a | 1,94 ^c | 13,8 ^f | 59,0 ^a | 26,0 ^b | 73,3 ^a |
| FIBERMAX 910 | 23,0 ^d | 0,570 ^f | 23,2 ^c | 0,379 ^c | 2,01 ^b | 14,0 ^e | 59,0 ^a | 25,8 ^b | 73,5 ^a |
| Média Geral | 24,8 | 0,640 | 23,8 | 0,404 | 1,99 | 14,5 | 57,9 | 26,4 | 72,9 |
| F (Local) | 4,2* | 9,4** | 24,7** | 27,2** | 0,7ns | 19,1** | 15,4** | 21,8** | 20,6** |
| F (Genótipo) | 2,86** | 8,99** | 6,77** | 2,90** | 7,42** | 4,62** | 5,26** | 5,73** | 5,60** |
| F (Gen x Local) | 12,1** | 17,1** | 3,7** | 21,3** | 8,0** | 105** | 17,4** | 4,0** | 4,2** |
| C.V.% | 1,66 | 1,92 | 1,11 | 1,52 | 1,35 | 0,49 | 0,45 | 1,06 | 0,39 |

⁽¹⁾Ácidos mirístico (C 14:0); palmítico (C 16:0); palmitoleico (C 16:1); esteárico (C 18:0); oleico (C 18:1); linoleico (C 18:2); AGS – ácidos graxos saturados, AGI – ácidos graxos insaturados. Médias seguidas de letras distintas, nas colunas, diferem entre genótipos pelo teste de agrupamento de médias de Scott & Knott a 5% de probabilidade. ns – não significativo; ** e * significativo a 1% e 5%, respectivamente, pelo teste F.

26,4% e 72,9%, respectivamente, dando uma razão de insaturados/saturados de aproximadamente 3:1. Resultados semelhantes foram relatados por Lukonge et al. (2007). As análises de variância mostraram que para todos os ácidos graxos foram altamente significativos os efeitos de locais, de genótipos e da interação locais x genótipos, com exceção do ácido esteárico, que não sofreu o efeito de locais. Para o teor de óleo de algodão foi significativo a 5% o efeito de locais e a 1% o efeito de genótipos e da interação locais x genótipos (Tabela 1).

Os coeficientes de correlação entre o teor de óleo e a composição de diferentes ácidos graxos, bem como as correlações entre os ácidos graxos estão apresentados na Tabela 2. O teor de óleo não se correlacionou significativamente com os ácidos graxos, em concordância com dados da literatura (LUKONGE et al., 2007). O teor de ácido linoleico apresentou correlação negativa e significativa com os ácidos mirístico, palmítico, palmitoleico e oleico. O ácido poli-insaturado (linoleico) se correlacionou, como esperado, positivamente com os insaturados (AGI) e negativamente com os ácidos graxos saturados (AGS). Por outro lado, os ácidos monoinsaturados (C 16:1, C 18:1) tiveram tendência inversa, correlacionando-se

negativamente com AGI e positivamente com AGS. O ácido palmítico, o principal ácido graxo saturado, apresentou correlação positiva e significativa com o ácido palmitoleico, oleico, mirístico e os ácidos graxos saturados, estando de acordo com resultados da literatura (DOWD et al., 2010). Os genótipos de algodoeiro com maiores níveis de palmítico e oleico tendem a ter menos linoleico. Como esses ácidos representam mais de 96% do total dos ácidos graxos, essas correlações refletem a influência da parte central da via de biossíntese dos ácidos graxos (DOWD et al., 2010). Especificamente a alta correlação negativa ($R = -0,847^{**}$) entre o ácido oleico e linoleico provavelmente está associada à atividade da enzima FAD2 dessaturase (*Fatty acid desaturase 2*), que catalisa a dessaturação do ácido oleico para o linoleico. Essa enzima reduz sua atividade em condições de temperaturas elevadas ($>35\text{ }^{\circ}\text{C}$) e secas, diminuindo os ácidos poli-insaturados e aumentando os saturados (CHEESBROUGH, 1989; DORNBOS JUNIOR; MULLEN, 1992; TANG et al., 2005; DOWD et al., 2010).

Nesse contexto, essas correlações indicam tendências favoráveis à seleção de genótipos com maior teor de ácidos graxos monoinsaturados (oleico) e menor de

Teor de óleo e composição de ácidos graxos em sementes de diferentes genótipos de algodoeiro

Gondim-Tomaz, R. M. A. et al.

poli-insaturados (linoleico), como desejável tanto para óleo de fritura como para a produção de biodiesel. Com relação aos 18 genótipos caracterizados neste trabalho, os que se destacaram com maior teor de ácido oleico e menor de linoleico foram FMT 523 e FIBERMAX 966, seguidos por IAC 06/205 e LD CV 22 (Tabela 1). Os genótipos que se destacaram com maior teor de óleo (27%) foram o CNPA MT 04-2080 e EPAMIG 110403, entretanto com um menor valor de ácido oleico e maior de linoleico.

Além do efeito de genótipo, foram também significativos os efeitos de locais e da interação genótipos x locais (Tabela 1 e 3). Com relação à interação genótipos x ambientes, Yunusova et al. (1991) também a observaram, analisando os ácidos graxos em genótipos de algodoeiro por dois anos agrícolas. Por outro lado, Dowd et al. (2010), estudando 35 genótipos de ensaios americanos em 6 locais, verificaram que a composição da maioria dos ácidos graxos foi influenciada pelo genótipo e pelo ambiente, sendo o efeito da interação relativamente baixo.

Não se encontrou explicação consistente para a instabilidade fenotípica (FUZATTO et al., 2013) de alguns genótipos, causa provável da interação locais x genótipos verificada. Todavia, existe a possibilidade que ela possa ser devida à diferença de incidências de doenças e nematoides nos experimentos. Em Campinas ocorreu a maior incidência de doenças (murcha de *Verticillium* e mancha-angular); em Londrina, de nematoides (*Rotylenchulus*

reniformis); e menor incidência de ambos em Primavera do Leste, o que provavelmente acarretou o desempenho diferenciado conforme a localidade, devido às diferenças de suscetibilidade a doenças e nematoides dos genótipos (CIA et al., 2011). Ademais, e sem desconsiderar possíveis efeitos edafoclimáticos e de natureza tecnológica no local em questão, explicaria o maior teor de óleo, na média dos genótipos, em Primavera do Leste (Tabela 3), que também apresentou menores teores de AGS, ácido palmítico e palmitoleico, em comparação com os outros dois locais.

No efeito de locais, foi verificada ainda a predominância da correlação negativa entre os ácidos oleico e linoleico em Londrina e Campinas, com alto teor de ácido oleico e baixo de linoleico para Londrina e o inverso para Campinas. Como mencionado anteriormente, esta correlação negativa deve-se provavelmente à atividade da enzima FAD2 dessaturase, que, ao diminuir sua atividade, dependendo das condições da temperatura do ar (mais elevada) e da umidade (mais baixa) durante o período de formação das sementes, tende a aumentar o teor de ácido oleico e diminuir o de ácido linoleico (CHEESBROUGH, 1989; DORNBOS JUNIOR; MULLEN, 1992; UNGARO et al., 1997; TANG et al., 2005; DOWD et al., 2010).

A interação genótipos x locais, significativa para todos os ácidos graxos apresentados na Tabela 1, revela a ocorrência de diferenças quanto à estabilidade fenotípica dos genótipos (FUZATTO et al., 2013), com respeito à

Tabela 2. Coeficientes de correlação entre o teor de óleo e ácidos graxos extraídos de sementes de 18 genótipos de algodoeiro⁽¹⁾.

| | Óleo | C 14:0 | C 16:0 | C 16:1 | C 18:0 | C 18:1 | C 18:2 | C 20:1 | AGS | AGI |
|--------|--------|----------|----------|----------|--------|----------|----------|--------|----------|-----|
| Óleo | 1,0 | | | | | | | | | |
| C 14:0 | -0,011 | 1,0 | | | | | | | | |
| C 16:0 | -0,085 | 0,625** | 1,0 | | | | | | | |
| C 16:1 | -0,059 | 0,349** | 0,472** | 1,0 | | | | | | |
| C 18:0 | 0,178 | -0,370** | -0,250 | -0,185 | 1,0 | | | | | |
| C 18:1 | 0,192 | 0,554** | 0,294* | 0,060 | 0,111 | 1,0 | | | | |
| C 18:2 | -0,091 | -0,744** | -0,752** | -0,326* | 0,172 | -0,847** | 1,0 | | | |
| C 20:1 | 0,256 | 0,489** | 0,134 | 0,081 | -0,250 | 0,344* | -0,315* | 1,0 | | |
| AGS | -0,060 | 0,651** | 0,992** | 0,464** | -0,146 | 0,322* | -0,775** | 0,143 | 1,0 | |
| AGI | 0,064 | 0,665** | -0,992** | -0,476** | 0,160 | -0,326* | 0,779** | -0,148 | -0,999** | 1,0 |

⁽¹⁾Ácidos mirístico (C 14:0); palmítico (C 16:0); palmitoleico (C 16:1); esteárico (C 18:0); oleico (C 18:1); linoleico (C 18:2); eicosenoico (C 20:1); AGS – ácidos graxos saturados; AGI – ácidos graxos insaturados; ** e * significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente, pela correlação de Pearson.

Tabela 3. Análise do teor de óleo e composição de ácidos graxos determinados pela média dos genótipos em três locais⁽¹⁾.

| Locais | Óleo | C 14:0 | C 16:0 | C 16:1 | C 18:0 | C 18:1 | C 18:2 | AGS | AGI |
|----------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | (%) | | | | | | | | |
| Campinas | 24,5 ^b | 0,613 ^b | 23,8 ^a | 0,418 ^a | 1,98 ^a | 13,9 ^b | 58,5 ^a | 26,4 ^a | 72,9 ^a |
| Londrina | 24,5 ^b | 0,664 ^a | 24,2 ^a | 0,418 ^a | 2,00 ^a | 14,8 ^a | 57,1 ^b | 26,8 ^a | 72,4 ^b |
| Pr Leste | 25,4 ^a | 0,644 ^a | 23,3 ^b | 0,375 ^b | 1,99 ^a | 14,8 ^a | 58,0 ^a | 26,0 ^b | 73,3 ^a |
| Média | 24,8 | 0,640 | 23,8 | 0,404 | 1,99 | 14,5 | 57,9 | 26,4 | 72,9 |

⁽¹⁾Percentual relativo da composição dos ácidos graxos. Ácido mirístico (C 14:0); palmítico (C 16:0); palmitoleico (C 16:1); esteárico (C 18:0); oleico (C 18:1); linoleico (C 18:2); AGS – ácidos graxos saturados; AGI – ácidos graxos insaturados; Pr Leste – Primavera do Leste. Médias seguidas de letras distintas diferem entre locais pelo teste de agrupamento de médias de Scott & Knott a 5% de probabilidade.

Teor de óleo e composição de ácidos graxos em sementes de diferentes genótipos de algodoeiro

Gondim-Tomaz, R. M. A. et al.

Tabela 4. Análise da composição dos ácidos oleico e linoleico por local⁽¹⁾.

| Genótipos | Ácido Oleico (C 18:1) | | | Ácido Linoleico (C 18:2) | | |
|-----------------|-----------------------|-------------------|-------------------|--------------------------|-------------------|-------------------|
| | (%) | | | (%) | | |
| | Campinas | Londrina | Pr Leste | Campinas | Londrina | Pr Leste |
| CNPA MT 04-2080 | 13,5 ^f | 14,3 ^g | 14,7 ^f | 59,4 ^a | 58,1 ^c | 58,7 ^a |
| EPAMIG 110403 | 14,1 ^e | 14,9 ^e | 15,2 ^e | 59,1 ^b | 57,2 ^d | 58,2 ^a |
| IPR 140 | 13,4 ^f | 14,6 ^f | 14,1 ^h | 58,5 ^c | 57,4 ^d | 58,7 ^a |
| IPR JATAÍ | 14,0 ^e | 15,8 ^b | 15,1 ^e | 59,6 ^a | 57,0 ^d | 59,0 ^a |
| FIBERMAX 966 | 15,1 ^c | 16,2 ^a | 15,9 ^b | 56,2 ^e | 54,5 ^g | 56,2 ^c |
| LD CV 22 | 14,4 ^d | 15,6 ^c | 15,3 ^d | 57,4 ^d | 55,9 ^f | 57,2 ^b |
| LD 99012021 | 14,4 ^d | 14,6 ^f | 14,7 ^f | 57,7 ^d | 56,7 ^e | 58,6 ^a |
| DP 604 BG | 12,4 ⁱ | 14,2 ^g | 13,7 ⁱ | 60,1 ^a | 57,6 ^d | 59,1 ^a |
| IAC 25 RMD | 13,9 ^e | 15,2 ^d | 15,2 ^e | 58,2 ^c | 56,2 ^f | 57,5 ^b |
| NUOPAL | 13,3 ^g | 14,6 ^f | 14,3 ^h | 59,1 ^b | 58,1 ^c | 58,3 ^a |
| FMT 523 | 15,6 ^b | 15,7 ^b | 16,1 ^a | 56,2 ^e | 56,1 ^f | 56,2 ^c |
| IMA 03 – 1318 | 13,5 ^f | 14,6 ^f | 14,5 ^g | 58,5 ^c | 56,2 ^f | 57,7 ^b |
| IAC 06/205 | 14,0 ^e | 15,5 ^c | 15,7 ^c | 58,2 ^c | 56,0 ^f | 56,1 ^c |
| FIBERMAX 993 | 15,9 ^a | 13,8 ⁱ | 14,2 ^h | 56,2 ^e | 58,2 ^c | 58,7 ^a |
| CNPAGO2005-809 | 13,3 ^g | 14,7 ^f | 13,9 ⁱ | 60,0 ^a | 57,3 ^d | 58,8 ^a |
| FMT 701 | 13,0 ^h | 14,0 ^h | 15,4 ^d | 60,2 ^a | 59,3 ^a | 57,2 ^b |
| CNPABA2003-2059 | 13,1 ^h | 14,1 ^g | 14,2 ^h | 60,2 ^a | 57,9 ^c | 58,9 ^a |
| FIBERMAX 910 | 13,2 ^h | 14,3 ^g | 14,5 ^g | 59,1 ^b | 58,7 ^b | 59,3 ^a |

⁽¹⁾Pr Leste – Primavera do Leste. Médias seguidas de letras distintas, nas colunas, diferem entre genótipos pelo teste de agrupamento de médias de Scott & Knott a 5% de probabilidade.

produção desses componentes do óleo. Em vista da importância dos teores dos ácidos oleico e linoleico, foram também apresentados os resultados de genótipos por local para esses componentes (Tabela 4), revelando maior separação de grupos de desempenho para o ácido oleico (7-8), quando comparado ao linoleico, que apresentou de 3 a 7 grupos de desempenho, sendo que no experimento de Primavera do Leste ocorreu a menor separação para o ácido linoleico (3 grupos). Dentre os genótipos que apresentaram teores mais elevados de ácido oleico e baixo teor de ácido linoleico (FMT 523, FIBERMAX 966, IAC 06/205 e LD CV 22), somente o FMT 523 apresentou homogeneidade de desempenho nos três locais, com relação a esses dois ácidos.

4 Conclusões

Genótipos de algodoeiro diferem quanto ao teor de óleo, composição dos ácidos graxos e conforme o ambiente de cultivo, apresentando potencial para uso comercial.

Entre os genótipos estudados, destacam-se FMT 523, FIBERMAX 966, IAC 06/205 e LD CV 22, que possuem maior teor de ácidos oleico e palmítico e menor teor de ácido linoleico, conferindo maior estabilidade oxidativa ao óleo, o que os torna mais indicados para a produção de biodiesel e uso como óleo de fritura.

A faixa de diversidade genética para os ácidos graxos, embora estatisticamente significativa, não é

suficientemente ampla para a realização de programas de melhoramento genético.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsa de produtividade, desenvolvimento tecnológico e extensão inovadora (Processo: 310150/2012-4) à E. C.; à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo financiamento da pesquisa (Processo: 2012/03864-3).

Referências

ASHRAFUL, A.; MASJUKI, H.; KALAM, M.; RIZWANUL FATTAH, I.; IMTENAN, S.; SHAHIR, S.; MOBARAK, H. Production and comparison of fuel properties, engine performance, and emission characteristics of biodiesel from various non-edible vegetable oils: a review. **Energy Conversion and Management**, Oxford, v. 80, p. 202-228, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2014.01.037>.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS – AOAC. **Official Method 996.06 fat (total, saturated, and unsaturated) in foods**. Rockville: AOAC, 2002.

BIODIESELBR. **Algodão**. Curitiba, 2006. Disponível em: <<http://www.biodieselbr.com/plantas/algodao/algodao.htm>>. Acesso em: 21 jul. 2015.

Teor de óleo e composição de ácidos graxos em sementes de diferentes genótipos de algodoeiro

Gondim-Tomaz, R. M. A. et al.

- CARVALHO, C.; MANTOVANI, D.; CARVALHO, P.; MORAES, R. **Análises químicas de alimentos**: manual técnico do Instituto de Tecnologia de Alimentos. Campinas: ITAL, 1990. 121 p.
- CARVALHO, L. P.; SILVA, G. E. L.; LIMA, M. M. D. A.; MEDEIROS, E. P.; BRITO, G. G.; FREIRE, R. M. M. Variabilidade e capacidades geral e específica de combinação para teor de óleo em algodoeiro. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v. 14, n. 1, p. 19-27, 2010.
- CHAPMAN, K. D.; AUSTIN-BROWN, S.; SPARACE, S. A.; KINNEY, A. J.; RIPP, K. G.; PIRTLE, I. L.; PIRTLE, R. M. Transgenic cotton plants with increased seed oleic acid content. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, New York, v. 78, n. 9, p. 941-947, 2001. <http://dx.doi.org/10.1007/s11746-001-0368-y>.
- CHEESBROUGH, T. M. Changes in the enzymes for fatty acid synthesis and desaturation during acclimation of developing soybean seeds to altered growth temperature. **Plant physiology**, Rockville, v. 90, n. 2, p. 760-764, 1989.
- CIA, E.; FUZATTO, M. G.; KONDO, J. I.; GALBIERI, R.; LÜDERS, R. R.; ALMEIDA, W. P.; OLIVEIRA, A. B.; KRZYZANOWSKY, A. A.; LEBEDENCO, A.; MARTINS, A. L. M.; MORELLO, C. L.; PEREIRA, D. J.; MESQUITA NETO, D. R.; BOLONHEZI, D.; FOLTRAN, D. E.; CHIAVEGATO, E. J.; MACHADO, E. F.; FURLANI JUNIOR, E.; TAKIZAWA, E. K.; DIAS, F. L. F.; FARIAS, F. J. C.; KASAI, F. S.; OHL, G. A.; CUNHA, E. F.; BELOT, J. L.; CAVICHIOLI, J. C.; CARVALHO, L. H.; BERIAN, L. O. S.; OLIVEIRA, M. A. C.; LANZA, M. A.; ITO, M. A.; PEREIRA, M.; MICHELOTTO, M. D.; ITO, M. F.; PEDROSA, M. B.; SUASSUNA, N. D.; VILELA, P. A.; GALLO, P. B.; RECO, P. C.; AGUIAR, P. H.; ATTOS, R. E. M. F.; FREITAS, R. S. Desempenho de cultivares e linhagens de algodoeiro em face da ocorrência de doenças e nematoides: resultados de 2007/08 e 2008/09. **Boletim Científico do Instituto Mato-Grossense do Algodão**, Cuiabá, n. 2, p. 1-66, 2011.
- CORSINI, M. S.; JORGE, N.; MIGUEL, A. M. R. O.; VICENTE, E. Perfil de ácidos graxos e avaliação da alteração em óleos de fritura. **Química Nova**, São Paulo, v. 31, n. 5, p. 956-961, 2008.
- COX, C.; MANN, J.; SUTHERLAND, W.; CHISHOLM, A.; SKEAFF, M. Effects of coconut oil, and safflower oil on lipids and lipoproteins in persons with moderately elevated cholesterol levels. **Journal of Lipid Research**, San Diego, v. 36, n. 8, p. 1787-1795, 1995. PMID:7595099.
- CREMONEZ, P. A.; FEROLDI, M.; NADALETI, W. C.; DE ROSSI, E.; FEIDEN, A.; DE CAMARGO, M. P.; CREMONEZ, F. E.; KLAJN, F. F. Biodiesel production in Brazil: current scenario and perspectives. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Golden, v. 42, p. 415-428, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.10.004>.
- DORNBOS JUNIOR, D.; MULLEN, R. Soybean seed protein and oil contents and fatty acid composition adjustments by drought and temperature. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, New York, v. 69, n. 3, p. 228-231, 1992.
- DOWD, M. K.; BOYKIN, D. L.; MEREDITH JUNIOR, W. R. CAMPBELL, B. T.; BOURLAND, F. M.; GANNAWAY, J. R.; GLASS, K. M.; ZHANG, J. Fatty acid profiles of cottonseed genotypes from the national cotton variety trials. **Journal Cotton Science**, Cordova, v. 14, n. 2, p. 64-73, 2010.
- FARIA, G. M. P.; OLIVEIRA, M. D. S.; CARVALHO, L. P.; CRUZ, C. D. Gains from selection for oil content in cotton. **Industrial Crops and Products**, Oxford, v. 51, p. 370-375, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.09.005>.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION – FAO; WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO. **Codex Stan 210-1999**: standard for named vegetable oils (Revision: 2001, 2003, 2009. Amendment: 2005, 2011, 2013 and 2015). Roma: FAO, 2015. Disponível em: <<http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/standards/list-standards/en/>> Acesso em: 16 fev. 2016.
- FUZATTO, M. G.; CIA, E.; KONDO, J. I. Estabilidade fenotípica, um complemento relevante na avaliação e classificação de genótipos de algodoeiro para resistência a doenças. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 39, n. 2, p. 117-121, 2013.
- GONDIM-TOMAZ, R. M. A.; SOAVE, D.; ERISMANN, N. D. M.; SABINO, N. P.; KONDO, J. I.; CIA, E.; AZZINI, A. Preparo de sementes para determinação do teor de óleo pelo método de RMN em seis variedades de algodoeiro. **Bragantia**, Campinas, v. 57, n. 2, p. 197-202, 1998.
- HARTMAN, L.; LAGO, R. Rapid preparation of fatty acid methyl esters from lipids. **Laboratory Practice**, Rockville Pike, n. 22, p. 475-476, 1973.
- KHAN, N. U.; MARWAT, K. B.; HASSAN, G.; FARHATULLAH, S. B.; MAKHDOOM, K.; AHMAD, W.; KHAN, H. U. Genetic variation and heritability for cotton seed, fiber and oil traits in *Gossypium hirsutum* L. **Pakistan Journal Botany**, Karachi, v. 42, p. 615-625, 2010.
- KNOTHE, G. "Designer" biodiesel: optimizing fatty ester composition to improve fuel properties. **Energy & Fuels**, Washington, v. 22, n. 2, p. 1358-1364, 2008. <http://dx.doi.org/10.1021/ef700639e>.
- LIU, Q.; SINGH, S. P.; GREEN, A. G. High-stearic and high-oleic cottonseed oils produced by hairpin RNA-mediated post-transcriptional gene silencing. **Plant physiology**, Rockville, v. 129, n. 4, p. 1732-1743, 2002. <http://dx.doi.org/10.1104/pp.001933>.
- LUKONGE, E.; LABUSCHAGNE, M. T.; HUGO, A. The evaluation of oil and fatty acid composition in seed of cotton accessions from various countries. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Malden, v. 87, n. 2, p. 340-347, 2007. <http://dx.doi.org/10.1002/jsfa.2731>.
- MILINSK, M.; MATSUSHITA, M.; VISENTAINER, J.; DIAS, L.; YAMAGUCHI, M.; PEDRÃO, M.; DE SOUZA, N. Influence of the esterification method on the quantification of olive oil fatty acids. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, Londrina, v. 32, n. 2, p. 139-150, 2011. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0375.2011v32n2p139>.
- MOTTA, F. G. Algodão. **Perspectiva para a Agropecuária**, Brasília, v. 2, p. 11-24, 2014. Disponível em: <<http://www>

Teor de óleo e composição de ácidos graxos em sementes de diferentes genótipos de algodoeiro

Gondim-Tomaz, R. M. A. et al.

conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14_09_10_18_03_00_perspectivas_2014-15.pdf> Acesso em: 21 jul. 2015.

O'BRIEN, R.; WAKELYN, P. Cottonseed oil: an oil for trans-free options. **Inform**, Sawston, v. 16, n. 11, p. 677-679, 2005.

PINZI, S.; GARCIA, I.; LOPEZ-GIMENEZ, F.; LUQUE DE CASTRO, M. D.; DORADO, G.; DORADO, M. The ideal vegetable oil-based biodiesel composition: a review of social, economical and technical implications. **Energy & Fuels**, Washington, v. 23, n. 5, p. 2325-2341, 2009. <http://dx.doi.org/10.1021/ef801098a>.

QUAMPAH, A.; HUANG, Z. R.; WU, J. G.; LIU, H. Y.; LI, J. R.; ZHU, S. J.; SHI, C. H. Estimation of oil content and fatty acid composition in cottonseed kernel powder using near infrared reflectance spectroscopy. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, New York, v. 89, n. 4, p. 567-575, 2012. <http://dx.doi.org/10.1007/s11746-011-1945-2>.

RAMOS, M.J.; FERNÁNDEZ, C.M.; CASAS, A.; RODRÍGUEZ, L.; PÉREZ, Á. Influence of fatty acid composition of raw materials

on biodiesel properties. **Bioresource Technology**, Oxford, v. 100, n. 1, p. 261-268, 2009. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2008.06.039>.

TANG, G. Q.; NOVITZKY, W. P.; CAROL GRIFFIN, H.; HUBER, S. C.; DEWEY, R. E. Oleate desaturase enzymes of soybean: evidence of regulation through differential stability and phosphorylation. **The Plant Journal**, London, v. 44, n. 3, p. 433-446, 2005. PMID:16236153. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-313X.2005.02535.x>.

UNGARO, M. R. G.; SENTELHAS, P. C.; TURRATI, J. M.; SOAVE, D. Influência da temperatura do ar na composição de aquênios de girassol. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 32, n. 4, p. 351-356, 1997.

YUNUSOVA, S.; GUSAKOVA, S.; GLUSHENKOVA, A.; NADZHIMOV, U.; TURABEKOV, S.; MUSAEV, S. A comparative investigation of the fatty acid compositions of the seeds of a number of lines of a genetic collection of *Gossypium hirsutum*. **Chemistry of Natural Compounds**, Heidelberg, v. 27, n. 2, p. 147-150, 1991. <http://dx.doi.org/10.1007/BF00629746>.