

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**  
**INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**DANIEL BONIFÁCIO OLIVEIRA CARDOSO**

**Melhoramento genético de algodoeiro colorido: Redes Neurais Artificiais  
*versus* métodos convencionais**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia – Mestrado, área de concentração em Fitotecnia, para obtenção do título de “Mestre”.

Orientadora: Prof. Dra. Larissa Barbosa de Sousa

**UBERLÂNDIA-MG**

**Fevereiro 2018**

# **DANIEL BONIFÁCIO OLIVEIRA CARDOSO**

## **Melhoramento genético de algodoeiro colorido: Redes Neurais Artificiais versus métodos convencionais**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia – Mestrado, área de concentração em Fitotecnia, para obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 02 de fevereiro de 2018.

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Ana Paula Oliveira Nogueira

UFU/INGEB

Prof. Dr. Gabriel Mascarenhas Maciel

UFU/ICIAG

Prof.<sup>a</sup> Dr. <sup>a</sup> Renata Oliveira Batista

ICA/UFVJM

Prof.<sup>a</sup> Dr. <sup>a</sup> Larissa Barbosa de Sousa

ICIAG-UFU

(Orientadora)

UBERLÂNDIA

MINAS GERAIS - BRASIL

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

---

C268m Cardoso, Daniel Bonifácio Oliveira, 1982  
2018 Melhoramento genético de algodoeiro colorido: redes neurais artificiais versus métodos convencionais / Daniel Bonifácio Oliveira Cardoso. - 2018.  
99 p. : il.

Orientadora: Larissa Barbosa de Sousa.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,  
Programa de Pós-Graduação em Agronomia.  
Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.di.2018.742>  
Inclui bibliografia.

1. Agronomia - Teses. 2. Algodão - Melhoramento genético - Teses.  
3. Inteligência artificial - Teses. I. Sousa, Larissa Barbosa de. II.  
Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em  
Agronomia. III. Título.

---

CDU: 631

Angela Aparecida Vicentini Tzi Tziboy – CRB-6/947

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por me dar forças e possibilitar o dom da vida, e a possibilidade de me tornar uma pessoa melhor, no qual me apoio e tento sempre honrar em minhas atitudes e pensamentos.

Aos meus pais Nilo e Rosângela, pelo amor e apoio em todos os momentos de minha vida e por serem meus referenciais. Obrigado também por transmitirem valores e princípios nos quais me baseio e mostrarem o valor da família.

Aos meus irmãos Filipe e Clárisse, por todos os momentos alegres e tristes, mas que sempre nos fazem crescer e nos tornam mais unidos.

À minha amada esposa Emilia, por me apoiar incondicionalmente e, por muitas vezes, pensar mais em mim do que em si, pelo amor, carinho e ombro amigo nos momentos difíceis dessa caminhada. Por me proporcionar um dos momentos mais felizes da paternidade, na qual Maria Rosa, nossa filha, veio para nos mostrar o quanto a vida é bonita em seus sorrisos e abraços.

Agradeço à Prof.<sup>a</sup> Dr. <sup>a</sup> Larissa Barbosa de Sousa, pela orientação, por toda dedicação, compreensão e por acreditar não só em mim, mas também nas pessoas, por se preocupar tanto com cada um. Eu não poderia ter terminado o curso, muito menos finalizar o mestrado, se não fosse por todo seu apoio acadêmico e amizade.

Agradeço aos membros do Programa de Melhoramento Genético do Algodoeiro da Universidade Federal de Uberlândia, programa de melhoramento idealizado pelo professor Dr. Júlio César Viglioni Penna, meus sinceros agradecimentos, pois a execução desse trabalho foi possível graças à dedicação de vocês e a todos que já passaram pelo programa e deixaram sua contribuição. Com a formação de amigos que levarei por toda a vida, principalmente Elvécio, Michel, Lucas, João Felipe, Cynthia, Vádio, Vinicius, Melissa, Morgana, Daniela, Guilherme, Leandro, e diversos outros, que nem poderia enumerar.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal de Uberlândia, por contribuírem para minha formação acadêmica e concederem a oportunidade de adquirir conhecimentos de grande valia.

À Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais pelo apoio financeiro.

A todos aqueles que de alguma forma contribuíram com o planejamento, execução e conclusão desse trabalho.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Valores referência para as características intrínsecas da fibra.....	18
Tabela 2. Classes de genótipos por meio da metodologia de Eberhart e Russell (1966) e os respectivos valores paramétricos.....	45
Tabela 3. Significância dos quadrados médios e coeficientes percentuais da variação experimental para as 9 características avaliadas, em 12 genótipos de algodoeiro nas safras 2013/14, 2014/15, 2015/16 e 2016/17.....	47
Tabela 4. Estimativas das partes simples resultantes da decomposição da interação entre genótipos e pares de ambientes. ....	48
Tabela 5. Estimativa dos coeficientes de $\beta_0$ , $\beta_{1i}$ e $\sigma^2_{di}$ utilizando o método de Eberhart e Russell (1966) para produtividade algodão em caroço ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), para 12 genótipos avaliados em 4 ambientes 2013/2014, 2014/2015, 2015/2016 e 2016/2017.....	49
Tabela 6. Estabelecimento dos ideótipos, calculados pelo método Centróide, para produtividade ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) dos genótipos de algodoeiro, avaliados em 4 ambientes. ....	50
Tabela 7. Média de produtividade e classificação de classe utilizando o método de redes neurais artificiais, para produtividade algodão em caroço ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de 12 genótipos avaliados em quatro ambientes 2013/14, 2014/15, 2015/16 e 2016/17.....	51
Tabela 8. Média de produtividade de algodão em caroço ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de 12 genótipos de algodoeiros em quatro safras, na cidade de Uberlândia-MG. ....	53
Tabela 9. Estimativa dos coeficientes de $\beta_0$ , $\beta_{1i}$ e $\sigma^2_{di}$ utilizando o método de Eberhart e Russell (1966) para Comprimento de Fibra (mm) (UHML), Uniformidade de comprimento (UI), Índice de Fibras Curtas (SFI), Resistência (STR) e Alongamento (ALG) em algodoeiro de fibra colorida, para 12 genótipos avaliados em 4 ambientes, nos anos 2013/14, 2014/15, 2015/16 e 2016/17.....	56
Tabela 10. Estimativa dos coeficientes de $\beta_0$ (médias) utilizando o método de Eberhart e Russell (1966) para Comprimento de Fibra (mm) (UHML), Uniformidade de comprimento (UI), Índice de Fibras Curtas (SFI), Resistência (STR) e Alongamento (ALG) em algodoeiro de fibra colorida, para 12 genótipos avaliados em 4 ambientes, nos anos 2013/14, 2014/15, 2015/16 e 2016/17.....	57
Tabela 11. Estabelecimento dos ideótipos, calculados pelo método Centróide, para comprimento de Fibra (mm) (UHML), Uniformidade de comprimento (UI), Índice de Fibras Curtas (SFI), Resistência (STR) e Alongamento (ALG) em algodoeiro de fibra colorida, para 12 genótipos avaliados em 4 ambientes, nos anos 2013/14, 2014/15, 2015/16 e 2016/17. ....	58

Tabela 12. Significância dos quadrados médios e coeficientes percentuais da variação experimental para as 9 características avaliadas, em 12 genótipos de algodoeiro na safra 2016/17.....	72
Tabela 13. Média de nove características de algodão morfológicas de 12 genótipos de fibra colorida cultivados em Uberlândia-MG.....	73
Tabela 14. Agrupamento de 12 genótipos de algodoeiro de fibra colorida, pelo método de Tocher, utilizando a distância de Mahalanobis como medida de distância genética, com base em caracteres agronômicos e características tecnológicas da fibra.....	77
Tabela 15. Significância dos quadrados médios e coeficientes percentuais da variação experimental para as 9 características avaliadas, em 12 genótipos de algodoeiro na safra 2016/17.....	88
Tabela 16. Correlações fenotípicas e genotípicas entre caracteres avaliados em 12 genótipos de algodoeiro colorido em Uberlândia-MG.....	90
Tabela 17. Estimativas dos efeitos direto e indireto, que envolveram o caractere principal dependente produtividade de algodão em caroço e as independentes: MIC, UHML, UI, STR, ELG, MIC e RP em 12 genótipos de algodoeiro safra 2016/2017.....	92

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Padrões de comportamento dos genótipos em dois ambientes: ambientes 1 e ambiente 2. Destacando-se na figura 1A- Ausência de interação; 1B- Interação simples e na figura 1C- Interação Complexa. Genótipo A representado por ----- ; Genótipo B representado por.....	24
Figura 2. Adaptado de Nascimento et al. (2013). Esquema da única camada oculta da rede neural .....	27
Figura 3. Dados meteorológicos no período de 12/2013 a 06/2014.....	38
Figura 4. Dados meteorológicos no período de 12/2014 a 06/2015.....	39
Figura 5. Dados meteorológicos no período de 12/2015 a 06/2016.....	40
Figura 6. Dados meteorológicos no período de 12/2016 a 30/06/2017.....	40
Figura 7. Dados meteorológicos no período de 12/2016 a 30/06/2017.....	69
Figura 8. Contribuição relativa das características:.....	75
Figura 9. Dendrograma da divergência genética entre 12 genótipos de algodoeiro de fibra colorida na safra 2016/2017, obtido pelo método hierárquico de ligação média “UPGMA”, com base na distância generalizada de Mahalanobis ( $D^2$ ). Coeficiente de correlação cofenética (r): 0,84, em Uberlândia, MG .....	76

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO GERAL.....	10
2.	REFERENCIAL TEÓRICO .....	13
	Referências .....	29
3.	GENÓTIPOS DE ALGODEIRO DE FIBRA COLORIDA NA REGIÃO DE UBERLÂNDIA, UTILIZANDO REDES NEURAIS ARTIFICIAIS QUANTO A PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DE FIBRA.....	Erro! Indicador não definido.
3.1.	Resumo .....	35
3.2.	Abstract.....	36
3.3.	Introdução .....	37
3.4.	Material e métodos .....	38
3.5.	Resultados e discussão .....	46
3.4.	Conclusões.....	59
	Referências .....	60
4.	DIVERSIDADE GENÉTICA ENTRE GENÓTIPOS DE ALGODEIRO COLORIDO PARA OBTENÇÃO DE GENITORES EM POTENCIAL .....	65
4.1.	Resumo .....	65
4.2.	Abstract.....	66
4.3.	Introdução .....	67
4.4.	Material e métodos.....	68
4.5.	Resultados e discussão .....	72
4.6.	Conclusões.....	77
	Referências .....	78
5.	CORRELAÇÃO ENTRE CARACTERES COMO CRITÉRIO DE SELEÇÃO INDIRETA EM GENÓTIPOS DE ALGODEIRO DE FIBRA COLORIDA.....	82
5.1.	Resumo .....	82
5.2.	Abstract.....	83
5.3.	Introdução .....	84
5.4.	Material e Métodos .....	85
5.5.	Resultados e Discussão .....	88
5.6.	Conclusões.....	95
	Referências .....	96

## RESUMO

CARDOSO, DANIEL BONIFÁCIO OLIVEIRA. **Melhoramento genético de algodoeiro colorido: Redes Neurais Artificiais versus métodos convencionais, 2018.** Dissertação (Mestrado em agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Minas Gerais, Brasil.

O objetivo deste trabalho foi: a) verificar a presença da interação genótipos x ambientes para a adapatabilidade e estabilidade pelos métodos de Eberhart e Russel (1966), Centróide, assim como avaliar o uso das redes neurais artificiais na adaptabilidade e estabilidade dos genótipos de algodoeiro de fibra colorida, para características da fibra e produtividade b) analisar a diversidade genética entre genótipos de algodoeiro de fibra colorida, utilizando características tecnológicas da fibra e produtividade pelos métodos de UPGMA e Tocher, para obtenção de genitores em potencial e c) avaliar as correlações fenotípicas e genotípicas e seus efeitos diretos e indiretos sobre produtividade, rendimento e caracteres tecnológicos da fibra de algodoeiro colorido. O experimento foi realizado na fazenda experimental Capim Branco, em Uberlândia-MG, nas safras 2013/2014, 2014/2015, 2015/2016 e 2016/2017. Foram avaliados 12 genótipos de algodão de fibra colorida. O delineamento experimental foi de blocos completamente casualizados com três repetições. Foram avaliados a produtividade de algodão em caroço, rendimento de fibra e as características tecnológicas da fibra com o auxílio do aparelho HVI (*High Volume Instrument*), sendo estas: Comprimento médio da fibra (UHML), Uniformidade de comprimento (UI), Índice de fibras curtas (SFI), Resistência de fibras (STR), Elongamento da fibra (ELG), Micronaire (MIC) e Maturidade da fibra (MAT). As características apresentaram interação GxA, que evidencia o comportamento diferencial dos genótipos frente as oscilações ambientais. A interação foi predominantemente do tipo complexa e, ao analisarmos a adaptabilidade e estabilidade, houve concordância entre os métodos de Eberhart e Russell e as RNA's, sendo que os genótipos UFUJP-02 e UFUJP-17, demonstraram ser responsivos aos estímulos ambientais com alta previsibilidade, além de demonstrarem ser promissores para a característica produtividade e qualidade de fibras. O método de RNA's demonstrou confiabilidade quanto a adaptabilidade se comparada aos métodos Eberhart e Russell e Centróide. Pela contribuição relativa de Singh UHML e MAT foram as características que mais contribuíram para a divergência. Formaram-se cinco grupos divergentes, um a menos que Tocher com 6 grupos. Verificou-se que possíveis hibridações entre UFUJP-17 e as cultivares comerciais podem ser promissoras para obtenção de populações segregantes com maior variabilidade genética. Visando o aumento do potencial produtivo e melhorias da qualidade de fibra, cruzamentos entre UFUJP-16 e as testemunhas comerciais, teriam maior chance de se obter êxito no programa de melhoramento. As características MIC, MAT, STR e ELG tiveram correlação significativa com produtividade, sendo que alongamento obteve correlação negativa, ou seja, uma associação inversa com produtividade. Na análise de trilha MIC, MAT e STR tiveram efeito direto superior a magnitude do efeito residual, sendo que MAT obteve efeito direto em sentido desfavorável, demonstrando ausência de causa e efeito sobre produtividade. A característica MIC, apesar do alto efeito direto, possui baixo coeficiente de determinação genotípico, inviabilizando sua utilização na seleção indireta. Verificou-se que comprimento de fibra e resistência podem ser utilizados na seleção indireta, desde que seja feito, entre ambas, uma seleção truncada.

**Palavras-chave:** *Gossypium hirsutum*; *Gossypium barbadense*; Inteligência Computacional.

## ABSTRACT

The objective of this work was: a) to verify the genotype x environment relationships for the physical and potential characteristics of the methods of Eberhart and Russel (1966), Centroid, as well as the use of artificial neural networks in the adaptability and stability of the cotton genotypes of b) to analyze a genetic difference between cotton genotypes of fiber and power propagation factors by the UPGMA and Tocher methods to identify the parents of potential risk factors and to evaluate the phenotypic and genotypic and indirect correlations on productivity, yield and technological characteristics of colored cotton fiber. The experiment was carried out at the experimental farm of Capim Branco, in Uberlândia-MG, in the crop year 2013/2014, 2014/2015, 2015/2016 and 2016/2017. Twelve cotton fiber genotypes were evaluated. The experimental design was completely randomized blocks with three replicates. The yield of cotton seed, fiber yield and technical characteristics of the fiber were evaluated with the aid of the HVI apparatus (High Volume Instrument), being: Average length of fiber (UHML), Uniformity of length (UI), Index of short fibers (SFI), fiber resistance (STR), fiber elongation (ELG), micronaire (MIC) and fiber maturity (MAT). GxA, which demonstrates the differential behavior of genocysts in the face of environmental oscillations. The interaction was predominantly intentional and adaptive, and a correlation was found between the Eberhart and Russell methods and the RNAs, and the genotypes UFUJP-02 and UFUJP-17 were shown to be responsive to environmental stimuli with high predictability, and to be shown to be the quality and quality of fibers. The RNA's method demonstrated how much adaptability was compared to the Eberhart and Russell and Centroid methods. Through the contribution of Singh, UHML and MAT were the characteristics that contributed most to a divergence. Five divergent groups were formed, one less than Tocher with 6 groups. Commercial applications may be more useful for the generation of segregant residues and with greater genetic variability. Aiming to increase the productive and improved potential of fiber quality, crosses between UFUJP-16 and the most frequent witnesses, the greater chance of success in the breeding program. The MIC, MAT, STR and ELG characteristics were highly comic, and the exterior was negative, that is, an inverse association with productivity. In the analysis of the MIC, MAT and STR tracks, the deleterious effects exceed the magnitude of the residual effect, and the MAT has direct effect in the unfavorable sense, demonstrating absence of cause and effect on productivity. The MIC characteristic, despite the high direct effect, has low genotype determination coefficient, making its use in indirect selection impossible. It was verified that the compromise of fiber and resistance can be used in the selection of direct, as long as a truncated selection is made between the two.

**Keywords:** *Gossypium hirsutum*; *Gossypium barbadense*; Computational Intelligence.

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

O algodoeiro (*Gossypium hirsutum*) é uma espécie do gênero *Gossypium*, da família *Malvaceae*, e tem grande importância socioeconômica em nível mundial. Existem na natureza 52 espécies pertencentes ao gênero *Gossypium*, sendo quatro de maior importância econômica: *G. hirsutum* L., *G. barbadense* L., *G. herbaceum* L. e *G. arboreum* L (GADELHA, 2014). Essa relevância socioeconômica mundial se deve ao fato do algodoeiro ser responsável por movimentar diversos setores da economia, como a indústria têxtil, agroindústrias, grandes e pequenos agricultores, inclusive a agricultura familiar (CHITARRA, 2014).

No mundo, a projeção de produção para a safra 2017/2018 é em torno de 24,59 milhões de toneladas de algodão em caroço. Isso representa um aumento de produção de 7,19% (CONAB, 2017), gerando bilhões de dólares em torno de sua cadeia produtiva, desde a produção na fazenda, até o processamento na indústria (ABRAPA, 2018).

Nesse sentido, o Brasil é uma das principais *commodities* agrícolas em importância econômica. A estimativa de área plantada é de mais de um milhão de hectares, um crescimento de 11% para safra 2017/2018, com expectativa de produção de 1,69 milhões de toneladas de pluma e com uma produção de algodão em caroço de aproximadamente 4.223,6 mil toneladas, crescimento de 10,3 % em relação à safra 2016/2017 (CONAB, 2017).

Sendo assim, em virtude da sua relevância, a cotonicultura brasileira se destaca em todas as regiões do país, com maior expressão no cerrado, uma vez que neste bioma encontrou condições favoráveis ao seu desenvolvimento, tais como condições climáticas ideais, terras planas mecanizáveis e incentivos governamentais, para se estabelecer e prosperar.

Segundo levantamento da Companhia Nacional de Abastecimento CONAB (2017), os estados de Mato Grosso e Bahia correspondem por mais de 85% da área plantada no Brasil, com área de 627,8 e 201,6 mil hectares, respectivamente, seguidos por Mato Grosso do Sul, Goiás, Maranhão e Minas Gerais que é o maior produtor da região Sudeste com área de 16 mil hectares na safra 2016/2017, e uma estimativa de aumento desta área em 49% para a safra 17/18. Isto se deve, principalmente, pela cotação favorável da *commodity* no mercado, com boas possibilidades de retorno financeiro (ABRAPA, 2017).

Em Minas Gerais, espera-se um aumento da produtividade de algodão em caroço de aproximadamente 32,9% (CONAB, 2017). Esses números demonstram o elevado potencial produtivo e de crescimento da espécie, reflexo direto de uma boa tecnificação e manejo da cultura, com destaque para as regiões do Noroeste, Alto Paranaíba, Triângulo Mineiro e Norte de Minas como as maiores produtoras do estado, com vários perfis de produtores.

Apesar de grande parte da produção da cotonicultura ser de algodão de fibra branca, naturalmente o algodoeiro produz fibras de cor (verde, amarelo, cinza, bege e creme), sendo inclusive uma expressão fenotípica dominante. Tal fato demonstra a importância da seleção artificial no decorrer da história, pois a característica branca sendo recessiva, seria natural a predominância da fibra colorida (BELTRÃO, 2004).

O algodoeiro de fibra colorida é uma boa alternativa de cultivo a ser explorada, pois possui alto potencial de mercado para os grandes produtores, devido ao seu maior valor agregado em relação ao algodão de fibra branca. Além disso, pode trazer aos produtores da agricultura familiar uma fonte de renda complementar aliado a importância social, (CARDOSO, 2010). Ademais, pode ser uma fonte complementar na ração de ruminantes, pois o caroço de algodão tem alto valor nutricional (25% proteínas e lipídios, aproximadamente) (COSTA et al., 2016).

Apesar de sua importância existem barreiras na produção da fibra de algodão colorido, pelo fato destes produzirem fibras curtas e fracas, quando comparadas ao algodão de fibra branca, o que pode depreciar o produto frente a indústria têxtil. Outrossim, é o fato de possuir produtividade menor em relação as cultivares de fibra branca existentes no mercado, que restringem a sua produção (BELTRÃO, 2004).

Com o intuito de contornar esses problemas, uma das estratégias mais econômicas e eficientes é o melhoramento genético de plantas. Em muitas situações o melhoramento é o único meio de aumentar a produtividade e a qualidade de fibra, além da vantagem de promover benefícios em termos hereditários e podendo ser, por isso, perpetuadas ao longo das gerações (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2014).

Todavia o melhoramento genético é um processo demorado que utiliza da hibridação como meio de ampliar a variabilidade genética existente. Após a obtenção da população segregante é possível aplicar um dos métodos de condução das populações. No algodoeiro, uma espécie de sistema reprodutivo intermediário, isso pode ser conduzido por métodos de melhoramento de plantas autógamas (BORÉM; FREIRE 2014).

No entanto, para a hibridação é necessário que haja variabilidade genética aliada a genitores com alto desempenho. Para isso o estudo da divergência genética, fornece informações que auxiliam o melhorista na escolha dos genótipos, para seleção de possíveis combinações que possibilitem obter maior efeito heterótico (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2014).

Existem vários métodos multivariados utilizados para estimar a divergência genética, sendo que os métodos aglomerativos diferem dos demais, em virtude de dependerem

fundamentalmente de medidas de dissimilaridade, que podem ser estimadas previamente pelo método da distância generalizada de Mahalanobis (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2014).

Complementar a questão da divergência, ainda se faz necessário selecionar os genótipos, através de suas características, de acordo com o objetivo do programa. Contudo, há dificuldades na seleção das características quando estas são de baixa herdabilidade e, ou, tenham problemas na mensuração.

Para contornar este problema as correlações permitem conhecer a magnitude e direção da influência dos fatores, e esta possibilita a seleção de forma indireta. A correlação se deve ao desequilíbrio gênico e, principalmente, a pleiotropia, que é a propriedade de um gene determinar mais de uma característica fenotípica. Para determinar e averiguar os efeitos diretos e indiretos das variáveis sob uma característica de interesse, realiza-se a análise de trilha (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2014).

Ao final do processo de melhoramento, os genótipos melhores ainda precisam ser avaliados nos ambientes em que se deseja inseri-los, pois, a manifestação fenotípica é determinada pelos genótipos sob influência do ambiente. Para esta verificação é necessário a análise conjunta dos experimentos, com a significância pelo teste F, para constatar ou não a interação genótipos x ambientes (GxA) e caso exista, realizar a decomposição da interação em partes simples ou complexas (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2014).

Todavia, a interação GxA não evidencia informações minuciosas do comportamento dos genótipos nos diversos ambientes, necessitando de uma análise que preveja seu comportamento, assim como a averiguação de sua responsividade ao ambiente, em condições específicas ou amplas. Para tal, o estudo da adaptabilidade e estabilidade é uma alternativa para amenizar e averiguar os efeitos da interação (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2014).

Pensando nisso, o objetivo deste trabalho foi selecionar genótipos de algodoeiro de alto desempenho, adaptabilidade e estabilidade, divergência genética, assim como determinar as relações entre os caracteres tecnológicos da fibra e a produtividade, com seus efeitos diretos e indiretos na seleção, na cidade de Uberlândia-MG.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### **2.1. Algodeiro**

O algodeiro é uma angiosperma da classe das dicotiledôneas, pertencente à ordem *Malvales*, família das *Malvaceae*, gênero *Gossypium*. O produto colhido é denominado algodão em caroço e é composto pela pluma (fibra) e pelo caroço (sementes com “línter”, ou seja, fibras curtas). Sua utilização se concentra na indústria de fiação, tecelagem, na indústria de alimentação animal (farelo) e humana (óleo), além de grande número de produtos secundários (PENNA, 2005).

Das principais espécies cultivadas no mundo o *Gossypium hirsutum* e o *Gossypium barbadense* são as mais exploradas, por possuírem boa produtividade e alta qualidade de fibra. São espécies alotetraploidoides  $2n=4x=52$  possuindo como centro de origem a América central e a América do Sul, respectivamente (GRID-PAPP, 1965; BELTRÃO, 1999).

A espécie *G. hirsutum* é uma planta caracterizada por possuir entre 0,6 cm a 1 m de altura, pouco ramificadas, folhas largas e tri ou pentalobadas. Suas flores apresentam cores amarelo pálido, com média de 11 sementes por lóculo. Suas fibras são longas e há presença de línter no tegumento das sementes. As principais raças são Marie galante, Puncatum, Latifolium, Morrili, dentre outras (BORÉM; FREIRE, 2014).

A segunda espécie em importância é o *G. barbadense*, que tem plantas com altura de até 2,70 m, ramos ascendentes com muita ramificação variada a pouco ramificadas. Possuem folhas espessas tri ou pentalobadas e flores amareladas com brácteas largas. Suas fibras são longas e brilhantes com a presença de línter verde ou marrom. As principais raças são a Brasiliense, Típica, Peruvianum e Darwinii (BORÉM; FREIRE, 2014).

As plantas de algodeiro possuem hábito de crescimento indeterminado e porte subarbustivo. Têm caule ascendente e raízes pivotantes que podem chegar a 2,50 m de profundidade. Seu fruto é denominado de maçã, e cada uma possui de três a cinco lóculos, sendo que o fruto aberto expõe suas fibras, denominando-se capulho. Por toda a planta glândulas denominadas gossipol apresentam-se distribuídas, sendo tóxicas protegendo a planta de herbivoria (BORÉM; FREIRE, 2014).

Além disso, possuem flores hermafroditas creme ou amareladas, que quando expostas a radiação solar, faz com que seus fitocromos reajam e as pétalas se tornem violáceas. A planta em ausência de polinizadores realiza autofecundação, contudo, havendo insetos polinizadores na área, a polinização cruzada pode atingir altos valores, acima de 50%, tornando, assim, o

algodoeiro como sistema reprodutivo do tipo intermediário. Seu ciclo pode oscilar de acordo com as condições ambientais, variando entre 160 a 180 dias (PENNA, 1982). Ainda em relação a sua morfologia, o algodoeiro apresenta dois tipos de ramificações, que são denominadas de ramos reprodutivos ou simpodiais e vegetativos monopodiais (BELTRÃO; SOUZA, 1999; BORÉM; FREIRE, 2014).

As sementes do algodoeiro são piriformes, com coloração que varia de marrom a preta. A principal característica da semente está na epiderme que possui células esclerificadas, que são modificadas e originam as fibras. Outra importante característica das sementes do algodoeiro é sua composição físico-química, rica em lipídios (25%) e proteínas (28%) (COSTA et al., 2017).

A fibra do algodoeiro é proveniente da epiderme da semente e são constituídas de fibras curtas (línter) e fibras longas. Sua estrutura é composta praticamente por celulose (88 a 96%) e cada fibra é proveniente de uma única célula (BELTRÃO, 2006).

Sendo assim, o conjunto de fibras é denominado pluma e a análise da qualidade destas fibras são de extrema importância para sua comercialização. As características tecnológicas das fibras são condicionadas por fatores genéticos, que sofrem influência como pragas, solo, doenças, dentre outros, dos quais o déficit hídrico, temperatura e luminosidade, são os fatores que mais podem interferir na constituição da fibra. Além disso, pragas como ácaros, lagartas, percevejos também depreciam a qualidade final da fibra (SANTANA et al., 1995; SANTANA, 2002; BORÉM; FREIRE, 2014).

## **2.2. Importância histórica e econômica**

Segundo a Associação Mineira de Produtores de algodão, a domesticação do algodoeiro se deu na Arábia há mais de 4 mil anos. Há oito séculos a.C. os egípcios já conheciam e cultivavam o algodão, além dos Incas e outras civilizações antigas, que já utilizavam o algodão por volta de 4.500 a.C. No Brasil, entre os séculos XIX e XX, o algodão era uma importante fonte de renda, principalmente no Nordeste (BELTRÃO, 2004; AMAPA, 2017).

Dessa forma, no Brasil o algodão adaptou-se muito bem, sendo que um dos fatores foram às condições climáticas do país, principalmente no bioma cerrado. Esse bioma propiciou condições edafoclimáticas favoráveis ao seu desenvolvimento, aliado a incentivos fiscais, alta tecnificação e pelo melhoramento genético, que possibilitou adaptar a cultura a diversas regiões, mantendo uma boa produtividade (EROS; CAMÂRA, 2013).

Os maiores produtores de algodão do mundo são a Índia, China, Estados Unidos, Paquistão e Brasil, que é o maior produtor de algodão em sequeiro do mundo. Os maiores consumidores mundiais são China, Índia, Paquistão e Turquia. Já os maiores exportares são os Estados Unidos, Índia e em terceiro lugar o Brasil, que produz 695,00 milhões de toneladas, com um montante comercializado de 1.130,00 bilhões de dólares no ano de 2017 (ABRAPA, 2017).

No mundo, a projeção da produção é de 22.523,00 milhões de toneladas com um aumento de aproximadamente 7% em relação à safra anterior, 22,58 milhões de toneladas, de acordo com a CONAB (2017). Essa produção gera cifras de US\$ 12 bilhões em movimentações financeiras, envolvendo mais de 350 milhões de pessoas em sua produção, desde as fazendas, logística, descaroçamento, processamento e a embalagem.

Nesse sentido, no mercado têxtil brasileiro a estimativa de algodão em pluma em 2017, segundo estimativas da Abrapa (2017), foi de 667 mil toneladas, gerando um excedente de 700 mil toneladas, pois a produção brasileira é de aproximadamente 1.400 mil toneladas. Os principais importadores da pluma brasileira são a Coreia do Sul e a China.

No Brasil existem regiões com crescimento significativo, sendo que o estado que mais produziu algodão, na safra 2016/2017, foi o Mato Grosso com 627,8 mil ha cultivados e uma produção de pluma de 1011 mil toneladas, seguido por Bahia com 201 mil ha e produtividade de pluma de 346 mil toneladas. Minas Gerais situa-se em sexto lugar com uma área de 21 mil ha e produção de 77,5 mil toneladas de algodão em caroço e 31 mil toneladas de pluma respectivamente na safra 2016/2017 (CONAB, 2017), dados que confirmam uma alta participação no cultivo de algodão no país.

Na divisão das regiões produtoras no estado de Minas Gerais, o Noroeste de Minas, com 67,9% de participação, é o maior produtor de algodão em pluma, seguido pelo Alto Paranaíba, Norte de Minas e Triângulo Mineiro (CONAB, 2017).

Os municípios que mais produzem no estado são: Unaí (14 mil toneladas), Presidente Olegário (10,4 mil toneladas), ambos na região Noroeste, além de Buritis (8,1 mil toneladas), São Gonçalo do Abaeté (7,2 mil toneladas) e Coromandel (7 mil toneladas) (Alto Paranaíba), como mostram os dados do ano de 2014/15 (MINAS GERAIS, 2016).

### **2.3. Qualidade da fibra**

A fibra é o principal produto do algodão e é constituída por uma única célula, que cresce e se desenvolve por aproximadamente 50-60 dias, período em que ocorre a elongação e

deposição de celulose, que corresponde a 95% de sua constituição (BELTRÃO, 2006). A fibra é oriunda da epiderme da semente e para ser considerada de qualidade é necessário atender as exigências da indústria têxtil, pois isso garantirá no momento da comercialização maior valorização financeira (CEPEA, 2017).

Nesse sentido, a qualidade da fibra se refere à aplicação de procedimentos padronizados desenvolvidos pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos da América do Norte – USDA, para avaliar as qualidades físicas do algodão que afetam o produto acabado e/ou a eficiência do setor industrial (BOLSA DE MERCADORIAS & FUTURO s.d.). Esta classificação é feita em amostras de fardos de algodão, levando em consideração o tipo, a cor e o grau de folha por parâmetros físicos universais.

Os parâmetros são características intrínsecas e extrínsecas da fibra. Características intrínsecas envolvem o manejo no campo e a genética do cultivar, de forma generalizada. Já a característica extrínseca depende da colheita, armazenamento e descaroçamento. Estas características em conjunto definem seu valor econômico, classificando-a quanto a sua qualidade, levando-se em consideração medidas de composição padrão, características sensoriais e fatores higiênico-sanitários e tecnológicos, segundo a lei nº 9.972/2000 (AGRICULTURA, 2017).

Atualmente a classificação das características intrínsecas da fibra são determinadas pelo sistema HVI (*High Volume Instruments*), sendo exigido esse teste e a classificação para que a pluma seja comercializada no exterior (ZELLWEGER- USTER, 1995).

Dessa maneira, o HVI analisa as seguintes características: comprimento da fibra (UHML), índice de consistência a fiação (SCI), uniformidade da fibra (UI), índice de micronaire (MIC), resistência (STR), alongamento (ELG), índice de fibras curtas (SFI), maturidade da fibra (MAT), grau de amarelo (GA) e grau de reflectância (RE). Estas são as características exigidas pela indústria têxtil, desde que dentro de certos limites para que o processo de fiação ocorra com a máxima qualidade na fiação. Tais características serão descritas abaixo (IMAMT, 2014), conforme Tabela 1:

#### **2.4.1. Índice de Consistência de fiação (SCI)**

Característica que indica resistência dos fios, em especial de fios a rotor. É a propriedade que a fibra tem de se transformar em fio.

#### **2.4.2. Comprimento de Fibra (mm) (UHML)**

É levado em consideração o comprimento médio da metade mais longa do feixe de fibras em 32 subdivisões de polegadas.

#### **2.4.3. Uniformidade do Comprimento (UI)**

Relação entre o comprimento médio e o comprimento médio da metade mais longa do feixe de fibras.

#### **2.4.4. Alongamento (ELG)**

Máximo de comprimento obtido por uma amostra de fibra durante uma carga de esforço até seu rompimento.

#### **2.4.5. Resistência (STR)**

Capacidade que a fibra tem de suportar uma carga até se romper. A resistência à ruptura é expressa em g tex<sup>-1</sup> (universal) e gf tex<sup>-1</sup> (Brasil), sendo que este parâmetro de qualidade representa a força máxima necessária para romper um feixe de fibras.

#### **2.4.6. Maturidade (MAT)**

Grau de desenvolvimento da parede da fibra. Para duas fibras de mesmo diâmetro, a mais madura será aquela que tiver parede mais espessa na sua seção transversal.

#### **2.4.7. Micronaire (MIC)**

Também conhecido como “finura de fibra”, é um índice adimensional. É indicador da resistência de uma determinada massa de fibras a um fluxo de ar, à pressão constante, em câmara de volume definido. Este índice, é intimamente influenciado pelo conteúdo de celulose presente na parede secundária da fibra e permite estimar a quantidade de fibras que irão compor a seção transversal do fio e sua resistência e regularidade em função de comprimento.

#### **2.4.8. Índice de Fibra Curta (%)**

Porcentagem de fibras com menos de 12 mm. É obtido através do HVI, pela proporção em percentagem de fibras curtas em uma amostra com comprimento inferior a 12,7 mm.

#### 2.4.9. Reflectância

A reflectância (Rd %) representa uma escala que varia do branco ao cinza. Quanto maior a reflectância da fibra, menor será o seu acinzentamento e, portanto, maior o interesse da indústria têxtil.

#### 2.4.10. Grau de Amarelecimento

Valor correspondente ao amarelecimento das fibras com a ajuda de um filtro amarelo.

**Tabela 1.** Valores referência para as características intrínsecas da fibra.

UHML(mm)		UI (%)		ELG (%)		STR (gf tex <sup>-1</sup> )	
<b>Curta</b>	23.5 - 25.15	<b>Muito Irregular</b>	< 77	<b>Muito Baixo</b>	< 5.0	<b>Baixa</b>	21.0-23.0
<b>Média</b>	25.16 - 27.94	<b>Irregular</b>	77-79	<b>Baixo</b>	5.0-5.9	<b>Média</b>	24.0-27.0
<b>Longa</b>	27.94 - 32.00	<b>Média</b>	80-82	<b>Médio</b>	5.9-6.7	<b>Elevada</b>	27.0-29.0
		<b>Uniforme</b>	83-85	<b>Alto</b>	6.8-7.6	<b>Muito Forte</b>	> 30.0
		<b>Muito Uniforme</b>	> 85	<b>Muito Alto</b>	> 7.6		

UHML=Comprimento de fibra; UI= Uniformidade de comprimento; ELG= Elongamento; STR= Resistência.

Continuação...

MAT		MIC		SFI (%)	
<b>Inadequado</b>	< 0.70	<b>Muito fina</b>	< 3.0	<b>Muito Baixa</b>	< 6.0
<b>Imaturo</b>	0.70-0.80	<b>Fina</b>	3.0-3.9	<b>Baixa</b>	6.0-9.0
<b>Inferior ao médio</b>	0.80-0.85	<b>Regular</b>	4.0-4.9	<b>Média</b>	10.0-13.0
<b>Maduros</b>	0.85-0.95	<b>Grossa</b>	5.0-5.9	<b>Alta</b>	14.0-17.0
<b>Superior ao médio</b>	0.95-1	<b>Muito Grossa</b>	> 6.0	<b>Muito Alta</b>	> 17.0

MAT=Maturação; MIC= Micronaire; SFI= Índice de Fibras Curtas

#### 2.5. Fatores ambientais que afetam a qualidade da fibra do algodoeiro

A cadeia produtiva do algodão busca cada vez mais melhorar aspectos da qualidade da fibra para a obtenção de um melhor produto final. No momento da venda da fibra para a

indústria, um produto de melhor qualidade é o que vai garantir um melhor retorno do investimento. Portanto, a melhoria nas características intrínsecas da fibra é cada vez mais almejada (SESTREN; KROPLI, 2009).

Por isso, a interação genótipos e ambientes (*G x A*) é um componente importante para os programas de melhoramentos de plantas, pois altera o desempenho relativo dos genótipos em virtude de diferentes ambientes e dificulta a recomendação de cultivares (OLIVEIRA et al., 2017).

Em trabalho realizado por Souza (1996), com o objetivo de avaliar uma cultivar de algodoeiro CNPA - 7H em diferentes populações de plantas, o estudioso concluiu que o número de plantas  $m^{-1}$  reduziu o comprimento (UHML) e o rendimento da fibra. Esses resultados corroboram com os trabalhos realizados por Hawkins e Peacock (1973) e Bridge et al. (1973), que também avaliavam a influência da densidade populacional na qualidade da fibra do algodão. Entretanto, outros autores não evidenciaram o efeito da população de plantas sobre o rendimento de fibra, quando relacionados à densidade de plantas (SILVA et al, 2011).

Beltrão et al. (2008), ao avaliarem o comprimento da fibra (UHML) de genótipos do algodoeiro, concluíram que o estresse hídrico no período de alongamento da fibra acarreta na redução no comprimento.

Já em estudo realizado por Azevedo (2005), com o objetivo de estudar a influência do ambiente nas características tecnológicas da fibra, chegou-se a conclusão que a adubação nitrogenada associada a aplicação de água residual tratada, proporcionou maior comprimento (UHML), uniformidade (UI) e alongamento (ELG), bem como menor índice de fibras curtas (IFC).

A influência do ambiente nas características tecnológicas da fibra do algodoeiro é maior que a determinada pelos aspectos intrínsecos da cultivar (ANDRADE et al., 2009). Dentre as condições ambientais que influenciam as características tecnológicas da fibra do algodão se destaca a distribuição das chuvas. A ocorrência de precipitações pluviais ou nebulosidade intensa na pré-colheita, quando os frutos já estão abertos, reduz substancialmente a qualidade da fibra, e os frutos que ainda não estão abertos apodrecem, reduzindo também a quantidade e a qualidade da semente (ENCHER, 2014).

Dentre outros aspectos não genéticos que prejudicam a qualidade da fibra, destaca-se o manejo incorreto das plantas infestantes. Tais plantas também reduzem a produção do algodoeiro, além de aumentar os custos de produção. As plantas infestantes também podem afetar o manejo do solo, o controle de pragas e doenças, interferem na quantidade de água e nutrientes disponíveis a planta, dentre outros (ASHTON; MÔNACO, 1991). Nesse sentido, as

plantas infestantes como picão preto (*Bidens pilosa*) e capim carrapicho (*Cenchrus echinatus*), além dos problemas citados acima, prejudicam a qualidade da fibra, pois suas estruturas se aderem a mesma a depreciando, dificultando a colheita e o beneficiamento do algodão.

## 2.6. Melhoramento do algodoeiro

Os programas de melhoramento genético convencional de algodoeiro no Brasil começaram em 1921. Neste ano a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) começou a desenvolver projetos de pesquisa voltados para a cultura, visando obter cultivares adaptadas para as regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste (PENNA, 2005).

O programa de melhoramento genético em algodoeiro da Universidade Federal de Uberlândia começou no ano de 1995, idealizado pelo professor Dr. Júlio César Viglioni Penna, com o intuito de desenvolver genótipos de algodoeiro de fibra colorida visando suprir a demanda de trabalhos sociais da região voltados a tecelagem. A princípio realizaram-se cruzamentos e retrocruzamento entre *Gossypium barbadense* - uma variedade de fibra escura avermelhada com porte elevado, desenvolvimento tardio, com baixa produtividade - e *G. hirsutum* comerciais, com objetivo de melhorar o porte da planta, qualidade de fibra e produtividade.

Hoje o programa é coordenado pela Professora Dr. Larissa Barbosa de Sousa e visa aprimorar as tecnologias de produção do algodoeiro na região de Uberlândia, almejando o desenvolvimento de novas cultivares brancas e coloridas convencionais, com alta produtividade, resistentes aos estresses bióticos e abióticos. Para tanto, utilizam-se métodos de melhoramento clássico e molecular.

De modo geral, nos programas de melhoramento de algodoeiro, utiliza-se o método bulk, genealógico ou retrocruzamento. O primeiro método de seleção é utilizado para melhoramento de grandes populações visando à seleção natural, o segundo para controle parental e o terceiro para incorporação de poucos genes específicos (BORÉM, 2005). Seleção massal, seleção genealógica, seleção pedigree-massal, seleção recorrente, hibridação, retrocruzamento e uso do vigor híbrido, também são bastante utilizados (BORÉM, 2014).

O algodoeiro é uma planta de autofecundação, entretanto, a taxa de polinização cruzada pode ultrapassar 80%. Este fato se deve a polinizações por abelhas *Apis mellifera* L. (FUZATTO, 1999). No programa de melhoramento de algodoeiro é de extrema importância tomar o cuidado de proteger as flores para evitar fecundação cruzada em genótipos que são de interesse.

Nesse sentido, o melhoramento genético do algodoeiro tem como objetivo atender a demanda de maior produtividade, porte, maturação uniformes dos capulhos, resistência às principais pragas e doenças, além de plumas que atendam as exigências da indústria têxtil (PENNA, 2005). As características mais visadas para as fibras, segundo Penna (1982) e Resende (2014), são: comprimento da fibra (UHML), resistência (STR), maturidade (MAT) e índice de micronaire (MIC).

Para o melhoramento de fibras coloridas, além das características citadas acima é importante saber que são determinadas geneticamente por um ou mais genes dominantes, sendo a maioria das espécies de algodão, 39 das 50 são de fibras de cor (EMBRAPA 2004). Contudo, poucas são exploradas pelo fato de possuírem qualidades de fibras inferiores quando comparadas ao algodão de fibra branca, além de possuírem menores produtividades (CARVALHO 2011).

## **2.7. Diversidade genética**

A diversidade se refere a variedade entre as espécies e os indivíduos, resultante da expressão genética, concomitantemente as variações ambientais. Nos programas de melhoramento é importante que haja divergência genética entre os genitores. A mensuração dessa dissimilaridade é realizada através de parâmetros que proporcionam ao melhorista antever combinações superiores e com maior efeito heterótico (RAMALHO et al., 2012).

Estes parâmetros são provenientes de avaliações fisiológicas e morfológicas e genéticas. Assim sendo, as técnicas biométricas possibilitam medir a dissimilaridade ou similaridade, utilizando a distância euclidiana média ou a generalizada de Mahalanobis (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2014).

A distância de Mahalanobis é a mais utilizada. Esta é dependente exclusivamente das medidas de dissimilaridades, assim como as correlações residuais entre os caracteres avaliados (CRUZ; REGAZZI; CANEIRO, 2014). Contudo, o agrupamento é necessário para que torne possível a visualização dos grupos formados por cada par de progenitor.

Dos métodos de agrupamento, os métodos hierárquicos de ligações médias (UPGMA) e o otimizado são os mais utilizados. O método hierárquico permite uma visão bidimensional da similaridade, calculando a soma de quadrado entre dois agrupamentos gerando um dendrograma. Além disso, baseiam-se na participação dos genótipos em subgrupos não vazios mutualmente exclusivos (CRUZ; REGAZZI; CANEIRO, 2014).

Há também o método otimizado de Tocher, o qual baseia-se na separação dos genótipos mais similares dentro do grupo e o compara com os demais genótipos até o nível máximo, usando o valor médio da distância entre os grupos, embasados na distância de Mahalanobis (CRUZ; REGAZZI; CANEIRO, 2014).

Segundo Violatti (2016), a análise da divergência genética utilizando o método de otimização de Tocher e o método hierárquico de ligações médias (UPGMA) encontraram comportamento similares para divergência genética em algodão. Isto se deve ao fato de ambas as metodologias tomarem como base a mesma matriz de dissimilaridade e, geralmente, serem concordantes ou próximos entre si (POLETINE, 2016). Em outro estudo de dissimilaridade, Neto et al. (2015) encontraram as menores distâncias na divergência entre genótipos brancos utilizando os métodos citados acima.

## **2.8. Correlação entre os caracteres**

Para otimização do melhoramento é importante avaliar vários caracteres ao mesmo tempo, para maximizar o tempo e recursos. Conhecer a relação entre os caracteres avaliados é um meio de selecionar uma entre várias características, principalmente, se esta for de difícil avaliação ou baixa herdabilidade (AZEVEDO et al., 2016).

A fim de auxiliar nestes casos, a correlação fenotípica, genotípica e ambiental, são de grande valia, pois podem orientar o melhorista, distinguindo e quantificando o grau de associação entre os caracteres. A correlação fenotípica é caracterizada pelas variações genéticas e ambientais. Contudo, as genéticas são as de maior interesse, uma vez que possuem natureza herdável e podem ser manipuladas pelo melhoramento (AZEVEDO et al., 2016).

Dessa maneira, quando duas características possuem correlação positiva é possível obter ganhos em uma por meio da seleção indireta em outra. As correlações possuem coeficientes adimensionais que variam de 1 à -1, sendo que o valor zero evidencia a falta de relação linear entre duas variáveis e não a ausência de correlação. Além disso, valores negativos indicam que as características são inversamente correlacionadas e, quando seus valores são positivos, os caracteres se correlacionam no mesmo sentido. Valores próximos ao extremo entre 1 e -1, indicam associação forte entre ambas (NOGUEIRA, 2011; SOUSA, 2013).

Contudo, a correlação estimada pode não ser representativa, uma vez que uma alta correlação pode ser resultado da interferência indireta de uma outra característica. Para isso é necessário mensurar a influência de efeitos diretos e indiretos de outros caracteres, necessitando

de uma análise complementar para determinar estas influências (TOEBE; CARGNELUTTI FILHO, 2013).

Com o intuito de contornar esse viés, a análise de trilha (WRIGHT 1921) possibilita a determinação dos efeitos diretos e indiretos dos caracteres sobre uma característica principal. Para tanto, é utilizado uma equação de regressão expressas em diagramas de trilha (CRUZ, REGAZZI, CARNEIRO, 2014).

Concomitantemente a análise de trilha, recomenda-se realizar o diagnóstico da multicolinearidade, a fim de eliminar possíveis erros de representatividade dos resultados e não expressar a realidade das correlações (SALLA et al., 2015). Para tanto existem dois métodos para identificação e eliminação ou ajuste das características que contribuem para a colinearidade.

O primeiro é o Montgomery e Peck (1981), o qual classifica e ranqueia as características que mais contribuem para a colinearidade, podendo ser do tipo fraca, moderada a forte ou severa. O segundo método utiliza a regressão em crista, e é utilizado quanto não se desejar eliminar uma variável que seja considerada importante. Para tal, é utilizado um valor mínimo da constante  $k$ , para estabilizar as variáveis inseridas na trilha e manter o fator de inflação da variância (VIF) menor que 10 (SALLA et al., 2015).

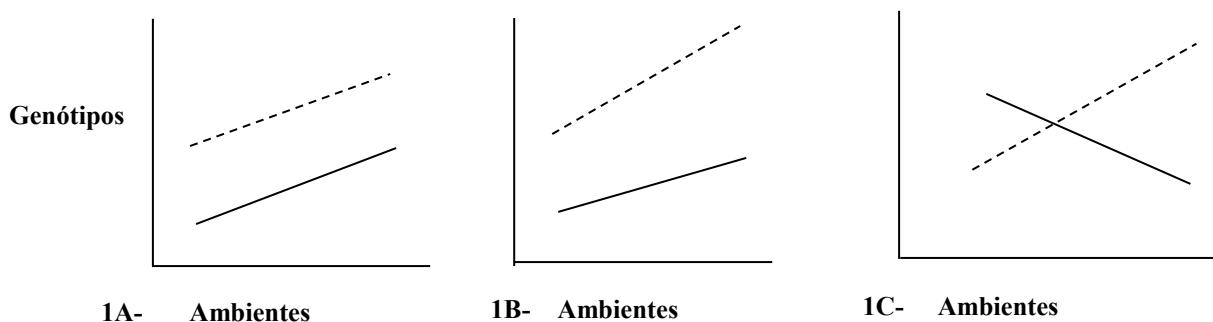
## **2.9. Interação genótipos x ambientes**

Ter diversidade genética e conhecer a correlação entre os caracteres é de grande valia no melhoramento, mas o potencial do genótipo pode ser mascarado na sua expressão fenotípica quanto há variações no ambiente, sendo representando pela interação genótipos x ambientes (GxA). No desenvolvimento das cultivares é importante que estes expressem as características genéticas pré-selecionadas, mesmo em ambientes contrastantes, sem perder seu potencial melhorado, como produtividade e rendimento (ALARCÓN; DIAS, 2009).

A interação GxA fornece parâmetros que auxiliam o melhorista a entender os fatores da interação, pois um genótipo superior em um ambiente, pode não ser superior em outro. Por isso, torna-se necessário a avaliação dos genótipos em diversos ambientes ao qual se deseja inseri-los e, assim, recomendar os melhores genótipos para cada região. De forma representativa, os tipos de interações são classificados como ausência de interação, interação simples ou interação complexa, de acordo com a resposta dos genótipos nos ambientes (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2014).

Na Figura 1 A, demonstra-se a ausência de interação, ou seja, ambos os pares de genótipos, respondem igualmente à melhoria nos pares de ambientes, representado pelas retas paralelas entre si. Na Figura 1-B, representa-se a interação do tipo simples, onde os pares de genótipos variam a magnitude nos ambientes, porém não alteram suas posições entre si.

Já a Figura 1-C representa a interação do tipo complexa, onde os genótipos não mantêm uma consistência de superioridade frente as variações ambientais. Sendo assim, o genótipo superior em um ambiente, não é superior em outro ambiente, o que dificulta a seleção e recomendação desses genótipos pelo melhorista.



**Figura 1.** Padrões de comportamento dos genótipos em dois ambientes 1 e ambiente 2. Destacando-se na figura 1A- Ausência de interação; 1B- Interação simples e na figura 1C- Interação Complexa. Genótipo A representado por ----- ; Genótipo B representado por

Contudo, apesar de sua importância, conhecer a respeito das interações genótipos x ambientes pode não detalhar informações mais minuciosas a respeito do comportamento dos genótipos a vista de variações ambientais. Para contornar esta particularidade, análises da adaptabilidade e estabilidade são necessárias para identificar comportamentos previsíveis dos genótipos, assim como sua predição às variações ambientais (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2014).

## 2.10. Adaptabilidade e estabilidade

A adaptabilidade e estabilidade auxilia o melhorista na seleção de genótipos mais adaptados aos ambientes. De acordo com Eberhart e Russell (1966), a adaptabilidade é a capacidade de os genótipos aproveitarem vantajosamente os estímulos ambientais e estabilidade a capacidade de previsibilidade em função desses estímulos. Existem vários métodos para determinar a adaptabilidade e estabilidade e a escolha sobre qual utilizar depende

dos dados experimentais, da quantidade de ambientes disponíveis e do tipo de informação que se deseja obter (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2014).

Dentre os métodos de estudo da adaptabilidade e estabilidade dos genótipos existem os métodos não-paramétricos baseados na análise de variância e na regressão linear simples, e os métodos univariados e multivariados.

### 2.10.1. Método Eberhart e Russell (1966)

O método de Eberhart e Russell (1966) baseia-se na análise da regressão linear simples dos genótipos, para determinar os parâmetros de estabilidade e adaptabilidade e é definido pelo modelo estatístico:

$$Y_{ij} = \beta_0 i + \beta_1 i + I_j + \delta_{ij} + \bar{\varepsilon}_{ij}$$

Em que:

$Y_{ij}$ : média do genótipo  $i$  no ambiente  $j$ ;

$\beta_0 i$ : média geral do genótipo;

$\beta_1 i$ : coeficiente de regressão linear, que mede a resposta do  $i$ -ésimo genótipo à variação do ambiente;

$I_j$ : índice ambiental codificado ( $\sum I_j j = 0$ );

$\delta_{ij}$ : desvio da regressão

$\bar{\varepsilon}_{ij}$ : erro experimental médio

Para os valores ideias, o coeficiente de regressão ( $\beta_1 i$ ) precisa possuir valores próximos de 1, valor que significa adaptabilidade geral ampla. Quando os valores do coeficiente de regressão são menores que 1, representam um genótipo que tem um desempenho melhor em ambientes desfavoráveis e, maiores que 1, demonstram o desenvolvimento melhor em ambientes mais favoráveis. Já os desvios de regressão de estabilidade ( $\sigma^2$ ) iguais a 0 demonstrando alta previsibilidade e estabilidade dos genótipos (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2014).

$$\sigma^2_{di} = \sum_j \widehat{\delta_{ij}} / (a - 2)$$

$$B_{1i} = \frac{\sum_j Y_{ij} I_j}{\sum_j I_j^2}$$

### **2.10.2. Método Centróide modificado por Nascimento (2009)**

O método centróide (ROCHA et al., 2005) é um método não paramétrico, que utiliza de técnica multivariada e isto possibilita reduzir a dimensionalidade do conjunto de dados com o mínimo de perdas, comparando os valores da distância cartesiana entre os genótipos e sete referências ideais (ideótipos), inferidos a partir dos dados experimentais para representar os genótipos de máxima adaptabilidade geral, máxima adaptabilidade específica a ambientes favoráveis ou desfavoráveis e os genótipos de mínima adaptabilidade. Os ambientes são classificados em favoráveis e desfavoráveis utilizando o índice ambiental como proposto por Finlay e Wilkinson (1963) (NASCIMENTO et al., 2009).

França et al. (2014) utilizaram o método centróide para análise da adaptabilidade e estabilidade em sorgo sacarino. Busanello et al. (2012) fizeram uso do método centróide para auxiliar na avaliação de híbridos simples e triplos de milho. Ainda há outros exemplos de uso do método centroide, como o de Pelúzio et al., (2008), que avaliaram a adaptabilidade produtiva de cultivares de soja em quatro épocas de semeadura em Gurupi-TO.

### **2.10.3. Método de redes neurais artificiais**

As redes neurais artificiais (RNA's) é um ramo da computação que simula o processamento dos dados de maneira análoga ao cérebro humano, adquirindo conhecimento através da experiência, e gera a possibilidade de prever algo, reconhecer padrões ou estabelecer agrupamentos (HAYKIN, 2008; BRAGA et al., 2011).

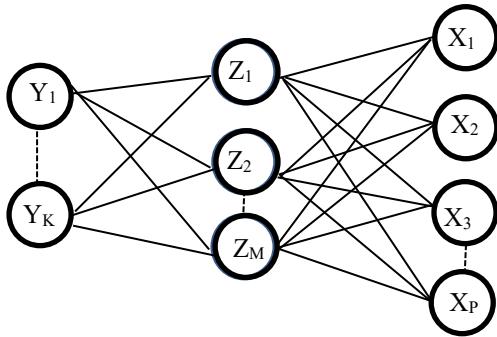
Este método possui diversas vantagens para sua utilização, pois considera a habilidade de aprendizagem com as experiências, não necessita de informações a priori dos dados, tem possibilidade de se adaptar ao meio, possui boa capacidade de predição. Além disso, mesmo com informações de entradas incompletas, não necessita de conhecimento prévio a respeito do comportamento a ser modelado e nenhuma pressuposição das variáveis (NASCIMENTO et al., 2013; BARROSO et al., 2013).

Uma das utilizações está sendo empregada para análises de adaptabilidade e estabilidade, inclusive adaptações ao uso do método de Eberhart e Russell (1966) utilizando RNAs, pois pelo método convencional existe o viés do seu uso, quando aplicado em poucos ambientes. Foi realizada a simulação de genótipos com o intuito de obter conjuntos para o treinamento e validação da rede. Para tanto, são simulados genótipos de acordo com as classes

definidas por Eberhart e Russell (1966) e usam-se os mesmos no treinamento da rede (HASTIE et al., 2009; NASCIMENTO et al., 2013; BARROSO et al., 2013).

Demonstrando um esquema de rede com uma única camada de rede neural (Figura 2). Tem-se: as pelas variáveis  $Z_m$  são funções de somas ponderadas de variáveis de entrada  $X_i$ , em outras palavras,  $Z_m = \gamma(\alpha_{0m} + \alpha^T m X)$ ,  $m = 1, 2, \dots, M$  e saída,  $Y_k$ , são modelados como funções dessas combinações, onde  $T_k = \beta_{0k} + \beta^T k Z$ ,  $k = 1, 2, \dots, K$ ,  $Y_k = f_k(T) = g_k(T)$ ,  $k = 1, 2, \dots, K$ , em que  $Z = (Z_1, Z_2, \dots, Z_M)$ , e  $T = (T_1, T_2, \dots, T_K)$  (NASCIMENTO et al., 2013). A função de ativação, sigmoid,  $\gamma(v)$  é dada como:

$$\gamma(v) = 1/(1 + e^{-v})$$



**Figura 2.** Adaptado de Nascimento et al. (2013). Esquema da única camada oculta da rede neural

A função de saída  $g_k(T)$  possibilita a transformação final do vetor de saída  $T$ . Na regressão, a função  $g_k(T)$  é definida como a identidade, ou seja,  $g_k(T) = T$ .

$$g_k(T) = \frac{e^{T_k}}{\sum_{l=1}^K e^{T_l}}$$

A estimativa do conjunto de todos os parâmetros da rede ( $\theta$ ) (pesos),  $\{\alpha_{0m}, \alpha_m ; m = 1, 2 \dots, M\}$  e  $\{\alpha_{0k}, \alpha_k ; k = 1, 2 \dots, K\}$ , que minimiza a soma de erros quadrados, dado por:  $G(\theta) = \arg \max_k f_k(x)$ , realizado pelo algoritmo de gradiente descendente, conhecido como back-propagation (HASTIE et al., 2009; NASCIMENTO et al., 2013).

$$R(\theta) = \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^N [y_{ik} - f_k(x_i)]^2$$

Para realizar o treinamento da rede com seus pesos, é necessário definir valores iniciais, satisfazendo a equação  $LS * \max(|x|) \approx 1$ , com o LS representando o limite superior do intervalo e  $\max(|x|)$  o maior valor absoluto do conjunto de dados de treinamento. Posteriormente realiza-se a validação rede, considerando um erro máximo de 1% (NASCIMENTO et al., 2013).

Assim, para analisar a estabilidade, utilizou-se o conceito de Finlay e Wilkinson (1963), classificado como alta estabilidade se, após sua linearização, a classificação para a adaptabilidade não for alterada e, como baixa estabilidade se for alterada (NASCIMENTO et al., 2013).

Ao estudar a adaptabilidade das RNA's para estimar a adaptabilidade e estabilidade, Nascimento et al. (2013), analisando genótipos de alfafa, concluiu que as RNA's são uma alternativa na classificação dos genótipos, em relação ao método Eberhart e Russell (1966). Barroso et al. (2013), analisando as RNA's para classificação de genótipos de alfafa, encontraram índices de concordância mais elevado, quando comparados a análise discriminante, com relação ao método de Eberhart e Russell (1966).

## REFERÊNCIAS

- ABRAPA. **Consumo mundial.** Disponível em:  
 <<http://www.abrapa.com.br/Paginas/dados/algodao-no-mundo.aspx>>. Acesso em: 01 jan. 2018.
- AGRICULTURA. Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2000/lei-9972-25-maio-2000-377281-norma-pl.html>>. Acesso em: 15 jan. 2018.
- ARCINIEGAS-ALARCÓN, S.; DIAS, C. T. S. AMMI analysis with imputed data in genotype x environment interaction experiments in cotton. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 44, n. 11, p. 1391-1397, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2009001100004>
- AMAPA. Associação Maranhense dos Produtores de Algodão. **História do algodão.** Disponível em: <<http://www.apapa-ma.com.br/historia-do-algodao/>>. Acesso em: 01 jan. 2018.
- ANDRADE JÚNIOR, A. S.; SILVA, F. A. M.; LIMA, M. G.; AMARAL, J. A. B. Zoneamento de aptidão climática para o algodoeiro herbáceo no Estado do Piauí. **Revista Ciência Agronômica**, Brasília, n. 40, v. 2, p. 175-184, 2009.
- ASHTON, F. M.; MONACO, T. J. **Vegetable crops:** weed science principles and practices. 3. ed. New York: John Wiley and Sons, Inc., 1991.
- AZEVEDO, Q. A; KONIG M. R.; BELTRÃO N. E. D. M.; CEBALLOS, B. S.; AZEVEDO, C. A.; TAVARES, T. D. L. Características tecnológicas da fibra do algodão herbáceo sob efeito de adubação do algodão herbáceo sob efeito de adubação nitrogenada e irrigação com água resíduaria tratada nitrogenada e irrigação com água resíduaria tratada. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 9, (Suplemento), p. 202-206, 2005.
- AZEVEDO, A. M.; SEUS, R.; GOMES, C. L.; FREITAS, E. M.; CANDIDO, D. M.; SILVA, D. J. H.; CARNEIRO, P. C. S. Correlações genotípicas e análise de trilha em famílias de meios-irmãos de couve de folhas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 51, n.1, p. 35-44, 2016. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000100005>
- BELTRÃO, N. E. M.; CARVALHO, L. P. Algodão colorido no Brasil, e em particular no Nordeste e no Estado da Paraíba. Brasília, DF, Brasil: **Embrapa Algodão-Documentos (INFOTECA-E)**, 2004
- BELTRÃO, N. E. M.; SOUZA, J. G. Fitologia do algodoeiro herbáceo: sistemática, organografia e anatomia. In: Beltrão, N. E. M. (Ed.). **O agronegócio do algodão no Brasil.** Brasília: Embrapa Comunicação para transferência de tecnologia, 1999. v. 1, p. 55-86.
- BOLSA DE MERCADORIAS & FUTURO (São Paulo, SP). **Padrões universais do algodão.** São Paulo, s.d. 11 p.
- BORÉM, A.; MIRANDA, G.V. **Melhoramento de plantas.** Viçosa: UFV, 2005. 525 p.

BORÉM, A.; FREIRE, E. C. **Algodão**: do plantio a colheita. Minas Gerais: UFV, 2014.

BRAGA, A. P.; CARVALHO, A. C. P. L. F.; LUDEMIR, T. B. **Redes neurais artificiais: teoria e aplicações**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

BRIDGE, R. R.; MEREDITH JR., W. R.; CHISM, J. F. Influence of planting method and plant population on cotton (*Gossypium hirsutum* L.). **Agronomy Journal**, Madison, v. 65, p.104-109, 1973. <https://doi.org/10.2134/agronj1973.00021962006500010032x>

BUSANELLO, C. **Estudo da adaptabilidade e estabilidade em híbridos simples e triplos de milho na região sul do brasil**. Dissertação (mestrado em agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, RS, 2012.

CARDOSO, G. D.; ALVES, P. L. D. C. A.; BELTRÃO, N. E. M; VALE, L. S. Períodos de interferência das plantas daninhas em algodoeiro de fibra colorida ‘BRS Safira’. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaliza, CE, n. 41, v.3, p. 456-462, 2010.

CARVALHO, L. P.; ANDRADE, F. P.; SILVA FILHO, J. L. Cultivares de algodão colorido no Brasil. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v.15, n.1, p.37-44, jan./abr. 2011.

CEPEA. **Metodologia do indicador de preços do algodão CEPEA/ESALQ**. Piracicaba, 2018. Disponível em:

<[https://www.cepea.esalq.usp.br/upload/kceditor/files/Metodologia\\_Indicador\\_Algodao%20C\\_Cepe\\_Esalq\\_Fev17.pdf](https://www.cepea.esalq.usp.br/upload/kceditor/files/Metodologia_Indicador_Algodao%20C_Cepe_Esalq_Fev17.pdf)>. Acesso em: 01 jan. 2018.

CHITARRA, L.G. **Identificação e controle das principais doenças do algodoeiro**. 3. ed. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2014.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. v. 5, n. 3 (safra 2017/18- terceiro levantamento, dezembro 2017/2018). Disponível em:

<[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17\\_12\\_12\\_17\\_59\\_52\\_dezembro.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_12_12_17_59_52_dezembro.pdf)>. Acesso em: 01 jan.2018.

COSTA, T. L.; NETO, F. D. C. V.; PAIXÃO, F. J. R.; FEITOZA, R. M.; MARQUES, L. F; RIBEIRO, D. **Composição química do óleo de algodão**. Campina Grande, PB: UFCG/COPEAg. Disponível em: <[http://oleo.ufla.br/anais\\_02/artigos/t087.pdf](http://oleo.ufla.br/anais_02/artigos/t087.pdf)>. Acesso em: 01 jan. 2018

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2014.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2014b. v.2. 668 p.

EBERHART, S. A.; RUSSELL, W. A. Stability parameters for comparing varieties. **Crop Science**, Madison, WI, v. 6, p.36-40, 1966.

<https://doi.org/10.2135/cropsci1966.0011183X000600010011x>

ECHER, F. R. **O algodoeiro e os estresses abioticos**: temperatura, luz, água e nutrientes. Cuiabá: Instituto Mato-Grossense do Algodão – IMAMt, 2014.

EROS, F. A. B.; CÂMARA, G. M. D. S. Desafios atuais para o aumento da produtividade da soja. **Informações Agronômicas**, Cuiabá, MT, Brasil, n.1, v.143, p. 11-16, 2013.

FINLAY, K. W.; WILKINSON, G. N. The analysis of adaptation in a plant-breeding programme. **Australian Journal of Agricultural Research**, Local de publicação, v. 14, p.742-754, 1963.

FRANCA, A. E. D.; PARRELLA, R. D. C.; SOUSA, V. F.; MOURA, S.; SILVA, M. J.; MAY, A. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de sorgo sacarino avaliada pelos métodos de Centróide e Annicchiarico. In: Embrapa Milho e Sorgo-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: **congresso nacional de milho e sorgo**, 30.; simpósio sobre lepidópteros comuns a milho, soja e algodão, 1., 2014.

FUZATTO, M. G. **Melhoramento genético do algodoeiro**. CIA, E.; FREIRE, E. C.; SANTOS, W. J. Cultura do algodoeiro. Piracicaba: POTAPOS, 15-34, 1999.

GADELHA, I. C. N.; FONSECA, N. B. S.; OLORIS, S. C. S.; MELO, M. M.; SOTO-BLANCO, B. Gossypol toxicity from cottonseed products. **The Scientific World Journal**, London, 2014.

GRID-PAPP, I. L. Botânica e genética. In: Instituto Brasileiro de Potassa Experimentações e Pesquisas (Ed.). **Cultura e adubação do algodoeiro**, 1965. p. 117-160.

HAWKINS, B. S.; PEACOCK, H. A. Influence of row width and population density on yield and fiber characteristics of cotton. **Agronomy Journal**, Madison, v.65, p.47-51, 1973.

<https://doi.org/10.2134/agronj1973.00021962006500010014x>

MINAS GERAIS. **Projeções do agronegócio**, Disponível em:  
[<http://www.agricultura.mg.gov.br/images/Arq\\_Relatorios/Publicacoes/projecoes\\_2016\\_a\\_2026.pdf>](http://www.agricultura.mg.gov.br/images/Arq_Relatorios/Publicacoes/projecoes_2016_a_2026.pdf). Acesso em: 01 jan. 2018.

NASCIMENTO, M.; CRUZ, C.D.; CAMPANA, A.C.M.; TOMAZ, R.S.; SALGADO, C.C; FERREIRA, R. P. Alteração no método centroide de avaliação da adaptabilidade genotípica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, Brasil. v. 44, p. 263-269, 2009.

<https://doi.org/10.1590/S0100-204X2009000300007>

NETO, J. C.; BERTINI, C. H. C. M.; SILVA, A. P. M. Divergência genética entre genitores de algodoeiro de fibras brancas e colorida. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife-Pernambuco, Brasil, v. 10, n. 4, p. 492-498, 2015. <https://doi.org/10.5039/agraria>

NOGUEIRA, A. P. O. Correlações, análise de trilha e diversidade fenotípica e molecular em soja. Tese (Doutorado), pela Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, Brasil, 2011.

OLIVEIRA, I. J.; ATROCH, A. L.; DIAS, M. C.; GUIMARÃES, L. J. M.; GUIMARÃES, P. E. O. Seleção de cultivares de milho quanto à produtividade, estabilidade e adaptabilidade no

Amazonas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, Brasil. v. 52, n.6, p. 453-461, 2017.

PENNA, J. C. V. Melhoramento do algodoeiro anual. **Informe 21 Agropecuário**, Belo Horizonte, v.8, n.92, p.10-13, 1982.

PENNA, J.C.V. Melhoramento do algodão. In: BORÉM, A. (Ed.). **Melhoramento de espécies cultivadas**. 2. ed. Viçosa, UFV. 2005. Cap.1, 15-53 p.

PELUZIO, J. M.; FIDELIS, R. R.; JÚNIOR, D. A.; DOS SANTOS, G. R.; DIDONET, J. Comportamento de cultivares de soja sob condições de várzea irrigada no sul do estado do Tocantins, entressafra 2005. **Bioscience Journal**, Uberlândia, MG, Brasil, v. 24, n. 1,2008.

POLETINE, J. P.; BORÁZIO, R. F.; BARELLI, M. A. A.; SEVERINO, J. J.; AUGUSTO, J.; SILVA, G. C. M. Quantificação da divergência genética entre híbridos superiores de girassol. **Journal of Agronomic Sciences**, Umuarama, v. 5, n. 1, p. 29-45, 2016.

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. D. F.; SANTOS, J. D.; NUNES, J. A. R. **Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas**. Lavras: Ed. UFLA, 2012. 522 p.

RESENDE M. A.V. Divergência genética e índice de seleção via BLUP em acessos de algodoeiro para características tecnológicas da fibra. **Pesquisa Agropecúaria Tropical**, Goiânia, v. 44, n. 3, p. 334-340, jul./set. 2014. <https://doi.org/10.1590/S1983-40632014000300006>

ROCHA, B. R.; MURO-ABAD, J. I.; FERNANDES A, E.; CRUZ, C. D. Avaliação do método centróide para estudo de adaptabilidade ao ambiente de clones de *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, BRASIL, v. 15, n. 3, 2005.

SALLA, V. P.; DANNER, M. A.; CITADIN, I.; SASSO, S. A. Z.; DONAZZOLO, J.; GIL, B. V. Análise de trilha em caracteres de frutos de jabuticabeira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 50, n. 3, p. 218-223, mar. 2015. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2015000300005>

SESTREN, J. A.; KROPLIN, R. Sistema de seleção e mistura do algodão em pluma. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO ALGODÃO, 7., 2009, Foz do Iguaçu, PR. **Resumos...** Foz do Iguaçu: Embrapa Algodão. p. 2192-2199, 2009.

SILVA, A. V.; CHIAVEGATO, E. J.; CARVALHO, L. H.; FURLANI JUNIOR, E.; KONDO, J. I.; SALVATIERRA, D. K.; TISSELLI, A. C. P. C. Configurações de semeadura e produção e qualidade da fibra do algodoeiro. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina – PR, Brasil, p. 1709-1715, 2011.

SOUZA, L. B. **Diversidade fenotípica e molecular, correlações entre caracteres, adaptabilidade e estabilidade de genótipos de soja**. Tese (Doutorado), pela Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG, Brasil, 2013.

TOEBE, M.; CARGNELUTTI FILHO, A. Não normalidade multivariada e multicolinearidade na análise de trilha em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 48, n. 5, p. 466-477, maio. 2013

ZELLWEGER USTER. **Fiber testing training manual**: technical encyclopedia. Tennessee, EUA, 1995. 130 p.

WRIGHT, S. Correlation and causation. **Journal of Agricultural Research**, Washington, v. 20, p. 557-585, 1921.

## CAPÍTULO 2

**ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE GENÓTIPOS DE ALGODEIRO DE  
FIBRA COLORIDA NA REGIÃO DE UBERLÂNDIA POR MEIO DE REDES  
NEURAIS ARTIFICIAIS E METÓDOS CONVENCIONAIS**

### **3. ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE GENÓTIPOS DE ALGODOEIRO DE FIBRA COLORIDA NA REGIÃO DE UBERLÂNDIA POR MEIO DE REDES NEURAIS ARTIFICIAIS E METÓDOS CONVENCIONAIS**

#### **3.1. Resumo**

O algodão é a fibra têxtil natural mais utilizada do mundo. No Brasil, o algodoeiro é um importante *comoditie* agrícola, sendo o país um dos maiores produtores mundiais, com cultivo em todas as regiões, principalmente no bioma cerrado. É importante o estudo da interação genótipos x ambientes (GxA) e, caso esse exista, avaliar sua adaptabilidade e estabilidade, a fim de analisar o comportamento dos genótipos frente aos estímulos ambientais e sua previsibilidade diante das oscilações do ambiente. Pensando nisto, o objetivo deste trabalho foi verificar a presença da interação genótipos x ambientes para características da fibra e produtividade, assim como avaliar o uso das redes neurais artificiais e métodos convencionais para adaptabilidade e estabilidade dos genótipos de algodoeiro de fibra colorida. Os experimentos foram realizados na fazenda experimental Capim Branco, em Uberlândia-MG, na safra 2013/2014, 2014/2015, 2015/2016 e 2016/2017. Foram avaliados 12 genótipos de algodoeiro de fibra colorida, sendo 10 do Programa de Melhoramento Genético do Algodoeiro UFUJP-01, UFUJP-02, UFUJP-05, UFUJP-08, UFUJP-09, UFUJP-10, UFUJP-11, UFUJP-13, UFUJP-16, UFUJP-17 e duas testemunhas: BRS Rubi e BRS Topázio. O delineamento experimental foi de blocos completamente casualizados com três repetições. A parcela experimental foi composta por quatro fileiras de plantas de algodão 5 metros de comprimento, espaçadas em um metro. Foram avaliados a produtividade de algodão em caroço, rendimento de fibra e as características tecnológicas da fibra com o auxílio do aparelho HVI (*High Volume Instrument*), sendo estas: Comprimento médio da fibra (UHML), Uniformidade de comprimento (UI), Índice de fibras curtas (SFI), Resistência de fibras (STR), Elongamento da fibra (ELG), Micronaire (MIC) e Maturidade da fibra (MAT). As análises realizadas foram: Estudo da interação genótipos por ambientes (GxA) pelo teste f, a decomposição da interação pela dissimilaridade entre os ambientes pelo método das partes simples, pelo método de Cruz e Castoldi (1991), além da adaptabilidade e estabilidade pelos métodos de Eberhart e Russell (1966), Centróide e Redes Neurais Artificiais (RNA's). As características avaliadas apresentaram interação GxA, que evidencia o comportamento diferencial dos genótipos frente as oscilações ambientais. A interação foi predominantemente do tipo complexa e ao analisarmos a adaptabilidade e estabilidade houve concordância entre os métodos de Eberhart e Russell e as RNA's, sendo que os genótipos UFUJP-02 e UFUJP-17 demonstraram ser responsivos aos estímulos ambientais com alta previsibilidade, além de demonstrarem ser promissores para a característica produtividade e qualidade de fibras. O método de RNA's demonstrou confiabilidade quanto a adaptabilidade, se comparada aos métodos Eberhart e Russell e Centróide.

**Palavras-chave:** *Gossypium hirsutum*; Inteligência Artificial; Adaptabilidade e estabilidade.

### 3.2. Abstract

Cotton is the most widely used natural textile fiber in the world. In Brazil it is an important agricultural commodity being also one of the largest world producers, grown in all regions of the country, mainly in the closed biome. It is of vital importance to study the genotype x environment interaction (GxA) and evaluate its adaptability and stability to know the behavior of genotypes as to their response to environmental stimuli and their predictability in the face of environmental oscillations. The objective of this work was to verify the presence of genotype x environment interaction for fiber characteristics and productivity as well as to evaluate the use of artificial neural networks for adaptability and stability of cotton fiber genotypes. The experiment was carried out at the Capim Branco experimental farm, in Uberlândia-MG, in the crop year 2013/2014, 2014/2015, 2015/2016 and 2016/2017. Twelve cotton fiber genotypes were evaluated, of which 10 were from the Genetic Improvement Program of the UFUJP-01, UFUJP-02, UFUJP-05, UFUJP-08, UFUJP-09, UFUJP-10, UFUJP-11, UFUJP-13, UFUJP-16, UFUJP-17 and two controls: BRS Rubi and BRS Topaz. The experimental design was completely randomized blocks with three replicates. The experimental plot was composed of four rows of cotton plants 5 meters long, spaced one meter apart. The yields of cotton seed, fiber yield and the technological characteristics of the fiber were evaluated with the aid of the HVI (High Volume Instrument) apparatus, being: Average length of fiber (UHML), Uniformity of length (UI), Index of (SFI), fiber resistance (STR), fiber elongation (ELG), micronaire (MIC) and fiber maturity (MAT). The analyzes carried out were: Study of the Interaction Genotypes by Environments (GxA) by test f, the decomposition of the interaction by dissimilarity between the environments by the simple parts method, by the method of Cruz and Castoldi (1991), besides the adaptability and stability by the methods of Eberhart and Russell (1966), Centroid and Artificial Neural Networks (ANNs). The evaluated characteristics presented interaction GxA that evidences the differential behavior of the genotypes in front of the environmental oscillations. The interaction was predominantly of the complex type and when analyzing the adaptability and stability there was concordance between the methods of Eberhart and Russell and the RNAs, being that the genotypes UFUJP-02 and UFUJP-17 demonstrated to be responsive to the environmental stimuli with high predictability, besides demonstrated to be promising for the characteristic productivity and quality of fibers. The RNA's method demonstrated reliability regarding adaptability compared to the Eberhart and Russell and Centroid methods.

**Keywords:** *Gossypium hirsutum*; Artificial intelligence; Adaptability and stability.

### 3.3. Introdução

O Brasil é o quinto maior produtor mundial de algodão com uma área estimada de plantio, para a safra 2017/2018, de mais de 1 milhão de hectares. Há um acréscimo de área de plantio de 11% em relação à safra anterior e, isso se deve, principalmente, as boas perspectivas de mercado aliado aos avanços no melhoramento genético de plantas (CONAB, 2017).

O algodão de fibra colorida tem um alto potencial na região de Minas Gerais. Esse potencial está relacionado ao elevado valor agregado em relação ao algodão de fibra branca, além da possibilidade relevante no contexto socioeconômico da região.

O melhoramento é uma eficiente ferramenta para obtenção de cultivares mais adaptadas e produtivas para cada ambiente, o que possibilita reduzir os custos de produção com insumos e maximizar os ganhos. O estudo do comportamento dos genótipos nos ambientes é de vital importância, pois afetará diretamente a manifestação fenotípica dos genótipos, através da interação genótipos x ambientes (GxA) (CRUZ; REGAZZI, CARNEIRO, 2014), que em sua existência dificulta o processo de melhoramento.

Para identificar estas manifestações diferenciadas nos ambientes, a decomposição da interação em partes simples e complexas foi proposta por Cruz e Castoldi (1991). A interação simples evidencia a diferença da variabilidade entre os genótipos, já a interação complexa demonstra a inconsistência da superioridade e do comportamento do genótipo com as variações nos ambientes. Carvalho et al. (2015) avaliaram a interação genótipos por ambientes em oito genótipos de algodoeiro de fibra colorida em 16 ambientes, colorida. O estudo concluiu que houve interação genótipos x ambientes para a maioria dos caracteres e a maioria é de natureza complexa. Contudo, são raros os estudos de GxA no Brasil quando se avalia algodão de fibra colorida.

Porém, conhecer a respeito das interações não nos fornece informações pormenorizadas sobre o comportamento desses genótipos diante das variações ambientais (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2014). Por isso, torna-se necessário o complemento do estudo.

O complemento se dá pela estabilidade e adaptabilidade, que fornece informações mais detalhadas a respeito do comportamento dos genótipos, apresentando um conhecimento de sua previsibilidade e sua resposta em relação a melhorias do meio (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2014). Existem várias metodologias que avaliam a adaptabilidade e estabilidade, levando-se em consideração a natureza das variáveis, números de ambientes, precisão requerida, dentre outros. Um dos métodos mais utilizados é o de Eberhart e Russell (1966), que utilizam a regressão linear.

Outro método bastante utilizado é o Centróide modificado por Nascimento et al. (2009), que consiste na comparação dos valores médios de distância cartesiana entre os genótipos a sete ideótipos (VASCONCELOS et al., 2015). Pfann (2010), em seu estudo de adaptabilidade e estabilidade de híbridos simples de milho no Parará, concluiu que a metodologia Centróide pode ser agregada pelo método de Eberhart e Russell. Já outro estudo, de Carvalho et al. (2015), avaliando estabilidade e adaptabilidade de genótipos de fibra colorida, utilizando o método de Eberhart e Russell, encontraram, de forma geral, adaptabilidade ampla para a maioria das características intrínsecas da fibra. Contudo, há limitações de uso quando utilizada em poucos ambientes (BARROSO et al., 2013).

Para contornar essa limitação, as redes neurais artificiais (RNA's) surgem como uma alternativa a esta deficiência, com a utilização das classes predefinidas por Eberhart e Russell (1966). As RNA's assemelham-se a uma rede de neurônios biológicos que processam muitos dados, reconhecendo padrões com capacidade de autoaprendizagem, simulando dados em um treinamento e validação da RNA, estimando uma grande coleção de genótipos de acordo com as classes predefinidas (HAYKIN, 2009; NASCIMENTO et al., 2013). Júnior et al. (2017), ao avaliarem genótipos de algodoeiro, utilizaram as RNA's para selecionar genótipos com alta qualidade de fibra.

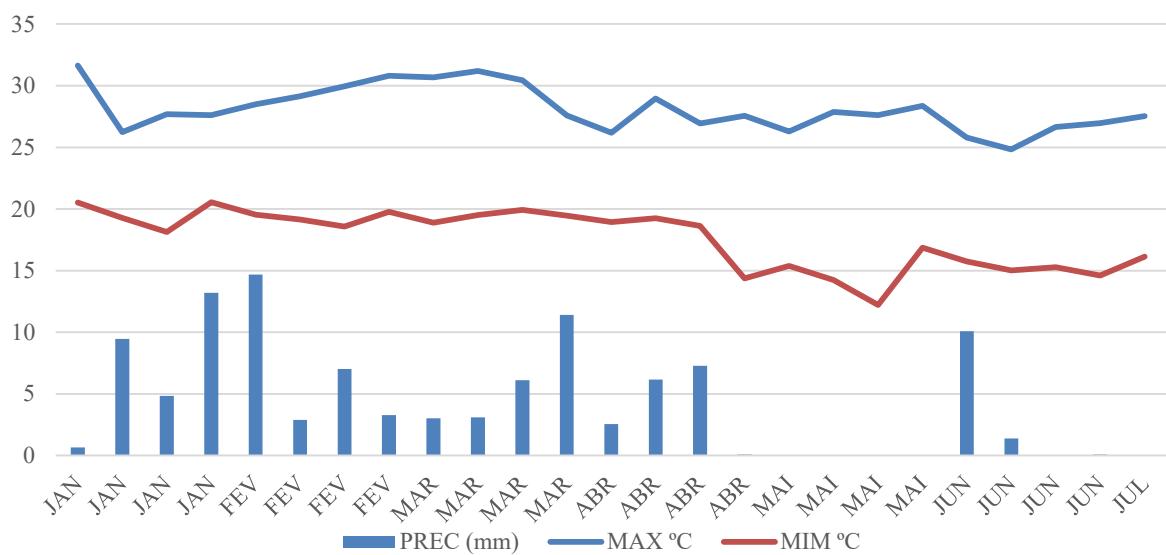
Pensando nisto, o objetivo deste trabalho foi verificar a presença da interação genótipos x ambientes para características da fibra e produtividade, assim como avaliar o uso das redes neurais artificiais para adaptabilidade e estabilidade dos genótipos de algodoeiro de fibra colorida.

### **3.4. Material e métodos**

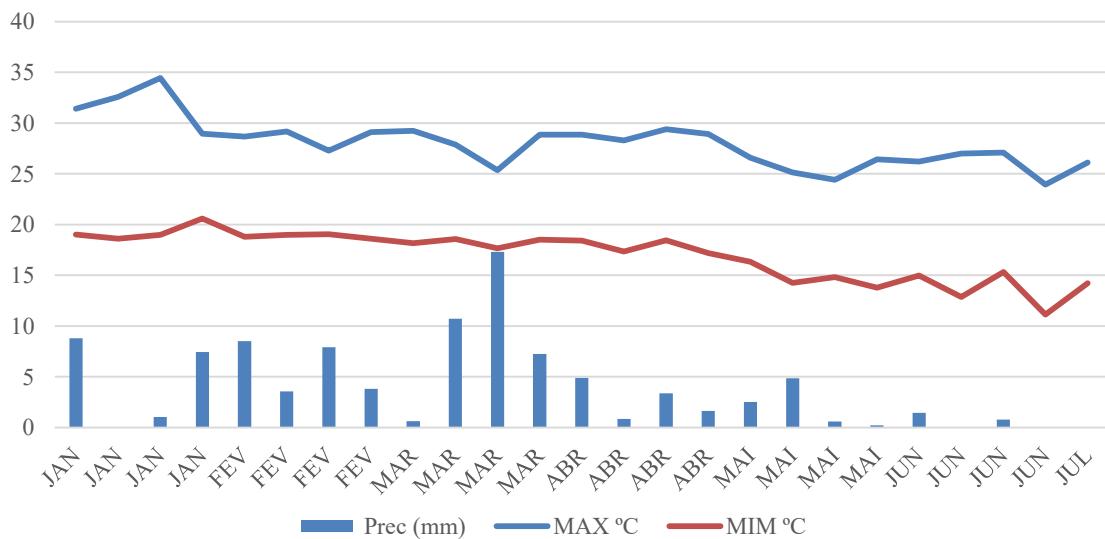
O experimento foi conduzido em uma área experimental localizada na Fazenda Capim Branco ( $18^{\circ}52'S$ ;  $48^{\circ}20'W$  e 805m de altitude), pertencente à Universidade Federal de Uberlândia, no município de Uberlândia, Minas Gerais. O estudo levou em consideração material coletado nas safras 2013/2014, 2014/2015, 2015/2016 e 2016/2017.

Segundo os dados climáticos (1981 a 2008) fornecidos pelo Instituto de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia, a cidade apresenta temperatura média do ar de  $22,4^{\circ} C$ , umidade relativa do ar média de 70% e precipitação pluvial anual média de 1.584 mm por ano.

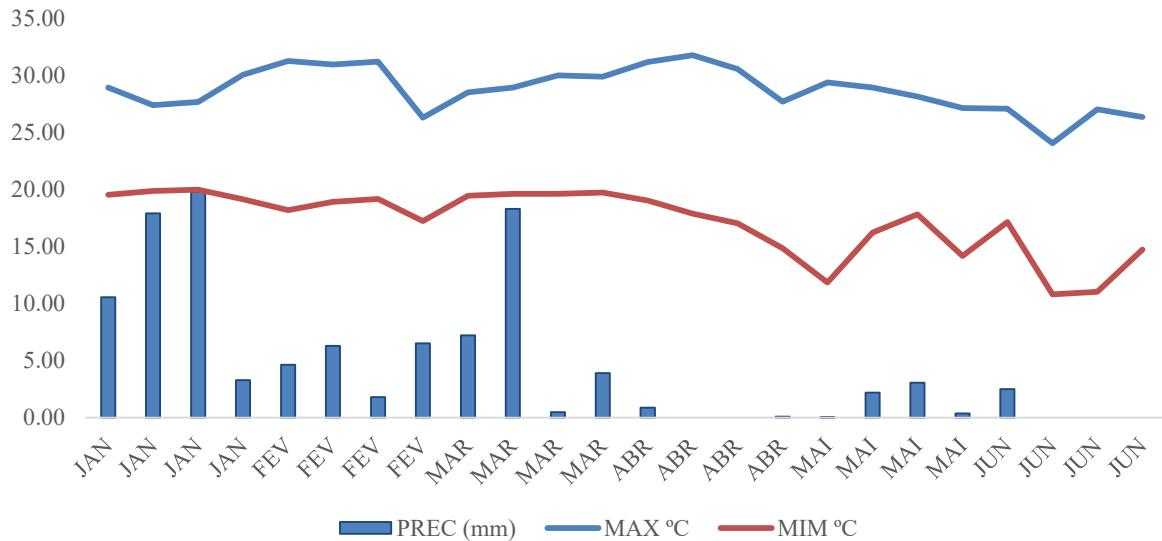
As condições meteorológicas durante a condução do experimento foram monitoradas via estação meteorológica automática, que apresenta sensores de temperatura e precipitação pluviométrica (Figura 3 a Figura 6).



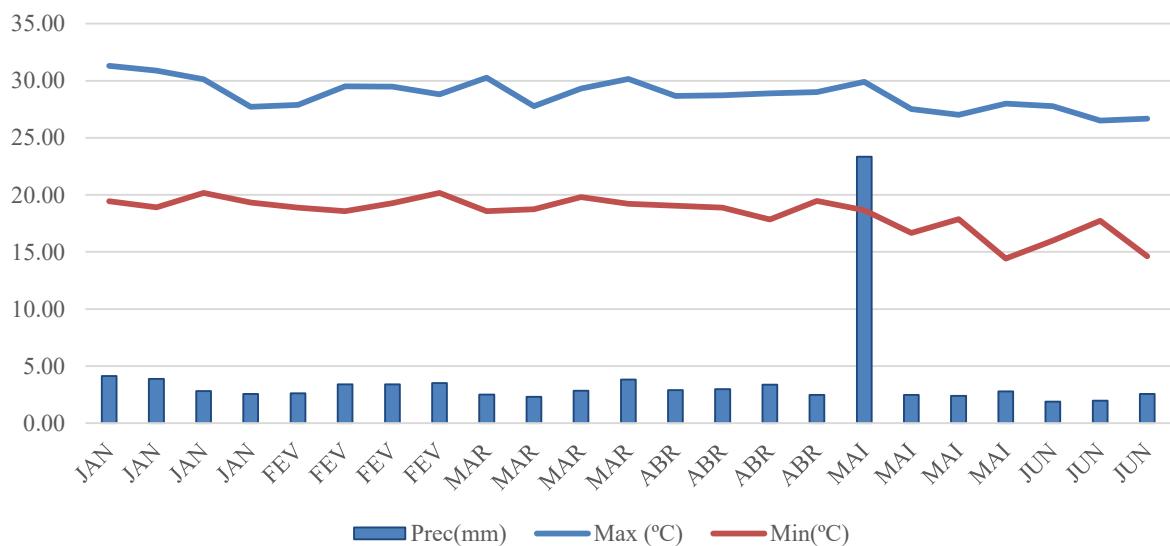
**Figura 3.** Dados meteorológicos no período de 12/2013 a 06/2014.  
MAX (°C) – Temperatura máxima; MIN (°C) – Temperatura mínima; Prec (mm) – Precipitação



**Figura 4.** Dados meteorológicos no período de 12/2014 a 06/2015.  
MAX (°C) – Temperatura máxima; MIN (°C) – Temperatura mínima; Prec (mm) – Precipitação



**Figura 5.** Dados meteorológicos no período de 12/2015 a 06/2016.  
MAX (°C) – Temperatura máxima; MIN (°C) – Temperatura mínima; Prec (mm) – Precipitação



**Figura 6.** Dados meteorológicos no período de 12/2016 a 30/06/2017.  
MAX (°C) – Temperatura máxima; MIN (°C) – Temperatura mínima; Prec (mm) – Precipitação

A área em que foi realizado o experimento situa-se de Latossolo Vermelho Escuro distrófico, de textura argilosa. Antes da implantação do experimento, coletou-se uma amostra composta de solo, para a realização das análises químicas para fins de recomendação de calagem e adubação.

O preparo do solo foi realizado de forma convencional, com uma aração e duas gradagens. A área foi sulcada e adubada manualmente com NPK (20-80-10). Foram semeadas no mês de dezembro, com 16 sementes por metro linear a 2 cm de profundidade. Aos 30 dias

após emergência, foi feito um desbaste, mantendo oito plantas por metro linear e adubação de cobertura, com 80 kg de N ha<sup>-1</sup>.

Doze genótipos de algodoeiro de fibra colorida foram avaliados, sendo 10 proveniente do Programa de Melhoramento Genético do Algodoeiro (PROMALG): UFUJP-01, UFUJP-02, UFUJP-05, UFUJP-08, UFUJP-09, UFUJP – 10, UFUJP – 11, UFUJP – 13, UFUJP – 16, UFUJP – 17 na geração F6, e duas cultivares comerciais: BRS Rubi (RC) e BRS Topázio (TC).

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos completos casualizados (DBC) com três repetições. A parcela experimental constituiu de quatro linhas de cinco metros espaçadas de um metro, sendo a área útil composta pelas duas linhas centrais desprezando 0,5 m de cada extremidade da linha.

As plantas infestantes foram controladas através de capinas, catação manual e controle químico. No pré-plantio foi realizada a aplicação de Dual Gold (S-Metolacloro). Além disso, foi realizada aplicação do herbicida Staple (Piritiobaque - Sódico), utilizando-se pulverizador costal, em toda área do ensaio, na dosagem de 500 mL ha<sup>-1</sup>.

Foram feitas diversas aplicações com produtos fitossanitários, visando o manejo integrado de pragas. As principais pragas encontradas e controladas foram: mosca branca (*Bemisia tabaci*), pulgão (*Aphis gossypii*), bicho do algodoeiro (*Anthonomus grandis*), tripe (*Frankliniella spp.*), percevejo-manchador (*Dysdercus ruficollis*), lagarta das maçãs (*Heliothis virescens*), falsa medideira (*Chrysodeixis includens*), curuquerê (*Alabama argilacea*) e ácaro rajado (*Tetranychus urticae*).

Ademais, durante todo o ciclo da cultura, foram feitas aplicações sequenciais com regulador de crescimento cloreto de mepiquat (1,1-dimethylpiperidinium chloride). As aplicações foram efetuadas quando o comprimento médio do internódio, obtido pela razão entre a altura da planta e número de nós da haste principal, ultrapassasse 3 cm.

As avaliações foram realizadas na maturação plena, avaliando cinco plantas aleatórias na área útil, sendo:

**Produtividade de algodão em caroço:** Coleta e pesagem de todos os capulhos abertos da área útil de cada parcela (kg ha<sup>-1</sup>).

**Rendimento de fibras:** Foi determinado obtendo-se a razão entre a massa de pluma e de algodão em caroço de cada parcela útil.

### Avaliação das características tecnológicas da fibra

Foram avaliadas as seguintes característica, pelo aparelho HVI (*High volume instrument*) (IMAMT, 2014):

### **Comprimento de fibra (mm) (UHML)**

Foi levado em consideração o comprimento médio da metade mais longa do feixe de fibras em 32 subdivisões de polegada. A escala de valores para essa característica obedece aos padrões de classificação do Embrapa (CNPA) em milímetros, sendo: Fibra curta: 23,5 a 25,15 mm; Média: 25,16 a 27,94 mm; Longa: 27,94 a 32,00 mm.

### **Uniformidade do comprimento**

Realizou-se a relação entre o comprimento médio e o comprimento médio da metade mais longa do feixe de fibras. *Upper half mean* (UHML) fornecidos pelo HVI. Conforme a classificação, o valor para uniformidade de fibra é classificado como: muito uniforme maior que 85% e de 83 a 85 %, média de 80 a 82%, irregular quando está entre 77 a 79 % e, muito irregular quando se encontra menor que 77%.

### **Alongamento**

Foi obtida pelo máximo de comprimento de uma amostra de fibra durante uma carga de esforço até seu rompimento, nesse caso foi determinado com o aparelho HVI. Os valores mais apropriados e aceitos pela indústria são de 7%. A característica alongamento (%) possui faixas de classificação, tais como: muito baixo – menor 5,0%; baixo – 5,0 a 5,9 %; médio – 5,9 a 6,7%; alto – 6,8 a 7,6 %; muito alto – acima de 7,6%.

### **Resistência**

Foi analisado a capacidade que a fibra tem de suportar uma carga até romper-se. A resistência à ruptura é expressa em  $\text{g tex}^{-1}$  (universal) e  $\text{gf tex}^{-1}$  (Brasil. Medidas esperadas, para fibras de algodão é entre 28 e 29 mm, uma resistência mínima de 26  $\text{g tex}^{-1}$ ).

O STR ( $\text{gf tex}^{-1}$ ) tem-se a seguinte classificação de fibra: muito forte, quando maior que 30; elevado: 27 a 29  $\text{gf tex}^{-1}$ , média: 24 a 27  $\text{gf tex}^{-1}$ , baixa de 21-23  $\text{gf tex}^{-1}$  e abaixo de 20  $\text{gf tex}^{-1}$  é muito baixa. Os melhoristas preferem fibras com valores acima de 28  $\text{gf tex}^{-1}$  (EMBRAPA, 2002).

### **Maturidade**

Foi mensurado o grau de desenvolvimento da parede da fibra. Para duas fibras de mesmo diâmetro, a mais madura foi aquela que tivesse parede mais espessa na sua seção transversal.

Para a característica maturação tem-se a classificação: superior ao médio de 0,95 a 1,00; maduros de 0,85 a 0,95; inferior ao médio de 0,80-0,85; imaturo de 0,70 a 0,80 e inadequado abaixo de 0,70.

### **Micronaire**

Verificou-se medida do diâmetro da fibra. No caso do algodão, o índice *micronaire*, também conhecido como “fírnura de fibra”, é um índice adimensional. É indicado pela resistência de uma determinada massa de fibras a um fluxo de ar, à pressão constante, em câmara de volume definido. Este índice é intimamente influenciado pelo conteúdo de celulose presente na parede secundária da fibra, permite estimar a quantidade de fibras que irão compor a seção transversal do fio e, portanto, sua resistência e regularidade em função de comprimento.

Sobre a classificação é considerado: muito fina – menor que 3,0; fina – 3,0 a 3,9; regular – 4,0 a 4,9; grossa – 5,0 a 5,9 e muito grossa – maior que 6,0.

### **Índice de fibra curta (%)**

Foi obtido pela porcentagem de fibras com menos de 12 mm. É obtido através do HVI, pela proporção em percentagem de fibras curtas em uma amostra com comprimento inferior a 12,7 mm. Para esta característica a classificação é: muito baixa – menor que 6 %; baixa – 6 a 9 %; média – 10 a 13 %; alta – 14 a 17 % e muito alta – maior que 17 %.

Para as análises estatísticas, foram realizados testes de pressuposições para homogeneidade das variâncias residuais (Teste de Levene), aditividade (Teste de Tukey) e normalidade dos resíduos (Shapiro-Wilk) e também a homogeneidade das variâncias residuais, que é a razão entre o maior e o menor quadrado médio do resíduo (QMR), não podendo ultrapassar o limite de sete, para realizar a análise de variância conjunta (RAMALHO et al., 2012). Posteriormente realizou-se a análise de variância conjunta e os efeitos de genótipos e ambientes foram considerados como fixos.

Para realizar a decomposição da interação GxA em partes simples e complexa, foi utilizado o método de Cruz e Castoldi (1991), dada pela expressão:

$$QMGxA = S + C$$

Em que:

$$C = \sqrt{(1 - r)^3 Q_1 Q_2}$$

$$S = 100 - C$$

r= correlação entre médias de genótipos nos dois ambientes

Sendo:

$$r_f = \frac{\text{COV}(Y_{ij} Y_{ij'})}{\sqrt{\hat{V}(Y_j)} \sqrt{\hat{V}(Y_{j'})}}$$

Em que;

$\text{COV}((Y_{ij} Y_{ij'}))$ : covariância fenotípica da característica X avaliada no ambiente j e j';

$\hat{V}(Y_j)$ : variância fenotípica da característica X no ambiente j; e

$\hat{V}(Y_{j'})$ : variância fenotípica da característica X no ambiente j';

Para as análises de adaptabilidade e estabilidade, utilizou-se o método de Eberhart e Russell (1966), em que se utiliza a regressão linear simples dos genótipos, para determinar os parâmetros de estabilidade e adaptabilidade, sendo definido pelo modelo estatístico a seguir:

$$Y_{ij} = \beta_{0i} + \beta_{1i} I_j + \delta_{ij} + \bar{\varepsilon}_{ij}$$

Em que:

$Y_{ij}$ : média do genótipo i no ambiente j;

$\beta_{0i}$ : média geral do genótipo;

$\beta_{1i}$ : coeficiente de regressão linear, que mede a resposta do i-ésimo genótipo à variação do ambiente;

$I_j$ : índice ambiental codificado ( $\sum I_{ji} = 0$ );

$\delta_{ij}$ : desvio da regressão

$\bar{\varepsilon}_{ij}$ : erro experimental médio

Para os valores ideias, o coeficiente de regressão ( $\beta_1$ ) tem que possuir valores iguais de 1, que significa adaptabilidade geral ampla. Quando os valores do coeficiente de regressão são menores que 1 representam um genótipo que tem um desempenho melhor em ambientes desfavoráveis, e maiores que 1 demonstra que tem o desenvolvimento melhor em ambientes mais favoráveis. É desejável os menores desvios de regressão, ou seja, próximo a 0 demonstrando alta previsibilidade e estabilidade ( $\sigma^2_{di}$ ) dos genótipos (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2014), classificados conforme a Tabela 2.

$$\sigma^2_{di} = \sum_j \widehat{\delta_{ij}} / (a - 2)$$

$$B_{1i} = \frac{\sum_j Y_{ij} I_j}{\sum_j I_j^2}$$

**Tabela 2.** Classes de genótipos por meio da metodologia de Eberhart e Russell (1966) e os respectivos valores paramétricos.

Classes	Classificação prática	Valores paramétricos
1	Adaptabilidade geral e previsibilidade baixa	$\beta_{1i} = 1$ e $\sigma^2_{di} > 0$
2	Adaptabilidade específica a ambientes favoráveis e previsibilidade baixa	$\beta_{1i} > 1$ e $\sigma^2_{di} > 0$
3	Adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis e previsibilidade baixa	$\beta_{1i} < 1$ e $\sigma^2_{di} > 0$
4	Adaptabilidade geral e previsibilidade alta	$\beta_{1i} = 1$ e $\sigma^2_{di} = 0$
5	Adaptabilidade específica a ambientes favoráveis e previsibilidade alta	$\beta_{1i} > 1$ e $\sigma^2_{di} = 0$
6	Adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis e previsibilidade alta	$\beta_{1i} < 1$ e $\sigma^2_{di} = 0$

O método centróide (ROCHA et al., 2005) pode ser caracterizado como um método não paramétrico de estimar adaptabilidade e estabilidade, que utiliza de técnica multivariada, a qual possibilita reduzir a dimensionalidade do conjunto de dados com o mínimo de perdas. Este método compara os valores da distância cartesiana entre os genótipos e referências ideais (ideótipos), inferidos a partir dos dados experimentais para representar os genótipos de máxima adaptabilidade geral, máxima adaptabilidade específica a ambientes favoráveis ou desfavoráveis e os genótipos de mínima adaptabilidade. Os ambientes foram classificados em favoráveis e desfavoráveis utilizando o índice ambiental como proposto por Finlay e Wilkinson (1963) (Nascimento, 2009).

$$I_j = \frac{1}{g} \sum Y_{ij} - \frac{1}{ag} Y$$

Em que:  $Y_{ij}$ : média do genótipo  $i$ , no ambiente  $j$ ;  $..Y$ : total das observações;  $a$  = número de ambientes;  $g$  = número de genótipos. Utilizou-se o software Genes (CRUZ, 2016).

Para avaliação da adaptabilidade e estabilidade dos genótipos por RNA, utilizou-se dois conjuntos de dados: o conjunto de treinamento e o conjunto de validação.

Para obter esses conjuntos de acordo com as classes definidas foram simulados 3000 genótipos avaliados em quatro ambientes, com os valores paramétricos utilizados para as

classes 1, 2 e 3, compostas por 500 genótipos, sendo estas: Classe 1:  $\beta_{0i} = \bar{X}_G$ ,  $\beta_{1i} \sim U[0,90; 1,10]$  e  $\sigma^2_\psi = 250$  ie,  $\beta_{1i}$  é considerado igual a 1 se  $\beta_{1i} \in [0,90; 1,10]$ ; Classe 2:  $\beta_{0i} = \bar{X}_G$ ,  $\beta_{1i} \sim U[1,11; 2,00]$  e  $\sigma^2_\psi = 250$  ie,  $\beta_{1i}$  é considerado maior para 1 se  $\beta_{1i} \in [1,11; 2,00]$ ; Classe 3:  $\beta_{0i} = \bar{X}_G$ ,  $\beta_{1i} \sim U[0,00; 0,89]$  e  $\sigma^2_\psi = 250$ ,  $\sigma^2_\psi = 250$ , ou seja,  $\beta_{1i}$  é considerado inferior a 1 se  $\beta_{1i} \in [0,00; 0,89]$ ; em que  $U[a; b]$  representam a distribuição da probabilidade uniforme contínua com os parâmetros a e b.

A partir desses valores paramétricos, criaram-se três primeiras classes mutuamente exclusivas. Para obter as três classes restantes, usou-se o método de Finlay e Wilkinson (1963), com os valores simulados transformados na escala logarítmica, introduzindo um alto grau de linearização, com as classes 4, 5 e 6  $\sigma^2_\psi = 0$ .

Foi considerado um erro máximo de 1% para o conjunto de testes, e o conjunto de dados dos genótipos de algodoeiro foi adicionado à rede para classificação.

Para o treinamento das RNA's foi considerando a arquitetura de *perceptron* multicamadas com as seguintes descrições para as topologias com 2 camadas ocultas, número de neurônios de 8 a 12 para cada camada oculta. Usou-se a função de ativação, adotando a função linear de ativação para camadas de saída. Para as camadas ocultas foram investigadas a adequação de todas as combinações possíveis das funções logística e tangente hiperbólica. O número de ciclos de treinamento foi de 3000 épocas e função de treinamento *trainbr - Bayesian Regulation backpropagation*.

Para as Redes Neurais Artificiais (RNA) os dados foram submetidos à análise realizadas com o auxílio do software Genes (CRUZ, 2016) e MATLAB (BEALE et al., 2017). Segundo Nascimento et al. (2013).

### 3.5. Resultados e discussão

Na análise de variância, a homogeneidade dos QMR, ficaram abaixo de sete para todas as características avaliadas, exceto para comprimento de fibra, sendo realizado o ajuste no grau de liberdade para esta variável. Houve efeito significativo para interação genótipos x ambientes (Tabela 3) e, isso evidencia o comportamento diferencial dos genótipos frente as oscilações ambientais, na expressão fenotípica dos genótipos quanto as características avaliadas. Carvalho et al. (2015) encontraram resultados semelhantes ao avaliarem a adaptabilidade e estabilidade das características tecnológicas da fibra colorida e porcentagem de fibra em sete ambientes.

A produtividade média de todas as safras foi de 2258 kg ha<sup>-1</sup>, 9,41% superior a encontrada por Cavalcante et al. (2015), que obteve médias de 2051 kg ao avaliarem genótipos comerciais de algodão de fibra colorida em solos sem cobertura. Este resultado demonstra o potencial genético para os genótipos quanto a produtividade.

**Tabela 3.** Significância dos quadrados médios e coeficientes percentuais da variação experimental para as 9 características avaliadas, em 12 genótipos de algodoeiro nas safras 2013/14, 2014/15, 2015/16 e 2016/17.

FV	Quadrados médios							
	GL	UHML	UI	SFI	STR	ELQ	PROD	RP
BLOCO/AMB	8	1,62	0,37	2,91	0,48	0,82	122239,16	15,84
BLOCOS	2	0,004	0,50	0,59	0,30	0,67	36596,16	20,37
BLO X AMB	6	2,16	0,33	3,68	0,64	0,87	150786,68	14,22
GENÓTIPOS	11	15,37**	7,41**	19,87**	24,89**	2,25**	1550103,94**	41,12**
AMBIENTES	3	16,20**	47,49**	16,48**	8,81**	38,07**	47800085,49**	328,54**
GEN X AMBI	33	7,44**	4,01*	11,08**	9,85**	1,13**	902470,83**	17,65**
RESÍDUO	88	3,29	2,27	5,48	3,03	0,43	294720,7	8,21
CV (%)		7,19	1,87	16,01	7,60	7,98	23,63	30,50
Médias		24,34	78,16	14,46	22,30	8,52	2258,84	30,50
(MQMR)/MQMR		9,81	2,42	3,83	3,08	2,10	4,08	6,04

\*\*, \*Significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente pelo teste F; FV = Fontes de variação; GL = Graus de liberdade; UHML = Comprimento de fibra (mm); UI = Uniformidade de fibra (%); SFI = Índice de fibras curtas (%); STR = Resistência da fibra (g tex<sup>-1</sup>); ELG = Alongamento (%); MIC = Índice micronaire; MAT = Maturação da fibra (%); PROD= Produtividade de algodão em caroço (kg ha<sup>-1</sup>); RP= Rendimento de Fibra (%), CV= Coeficiente de variação; MQMR/MQMR= Razão do quadrado médio maior sob o quadrado médio menor.

Os coeficientes de variação (CV) variaram de 1,87% para uniformidade de comprimento à 30,50% para rendimento de fibra. Jeronimo (2014), ao avaliar genótipos de algodoeiro quanto a qualidade da fibra, obteve CV de 29,52% para IFC, valores acima dos obtidos nesse trabalho para qualidade da fibra. Segundo Santos et al. (1998), os valores de CV para qualidade de fibra avaliados são considerados baixos (inferiores a 10%) para todas as características, o que demonstra boa precisão experimental. Para produtividade e rendimento de fibra, os valores são considerados médio (até 28.54%), contudo, aceitáveis por serem características quantitativas com grande influência do ambiente (SANTOS, 1998).

Na Tabela 4 é possível observar a decomposição da interação GxA em parte simples quando acima de 50% e complexas quando abaixo de 50%.

**Tabela 4.** Estimativas das partes simples resultantes da decomposição da interação entre genótipos e pares de ambientes.

Ambientes	UHML	UI	SFI	STR	ELG	PROD	RF
2013/14 x 2014/15	43,75	8,53	11,12	37,17	60,37	70,81	70,81
2013/14 x 2015/16	32,34	33,18	19,75	63,26	42,01	58,20	58,20
2013/14 x 2016/17	64,88	39,24	57,39	73,16	28,08	83,54	83,54
2014/15 x 2015/16	47,94	-2,97	18,42	51,94	-7,45	3,14	3,14
2014/15 x 2016/17	42,28	13,98	13,71	31,21	31,32	10,92	10,92
2015/16 x 2016/17	21,17	57,60	5,50	48,90	20,87	11,42	11,42

UHML = Comprimento de fibra; UI = Uniformidade de fibra; SFI = Índice de fibras curtas; STR = Resistência da fibra; ELG = Alongamento; MIC = Índice micronaire; MAT = Maturação da fibra; PROD= Produtividade; RP= Rendimento de Fibra, Amb1= Safra 2013/14, Amb2= Safra 2014/15, Amb3 = Safra 2015/16 e Amb4= Safra 2016/17.

A minoria dos pares de ambientes (36%) foi classificada como interação do tipo simples, e não gera problemas ao melhoramento. Os demais apresentaram interação do tipo complexa, o que dificulta a identificação e recomendação de genótipos superiores em todos os ambientes. Gomes (2017), ao avaliar 21 genótipos de algodoeiro e sua interação GxA, constatou a predominância de interação do tipo complexa em algodoeiro de fibra branca, não corroborando com este trabalho.

Ainda é possível observar dois valores negativos na decomposição da interação GxA entre pares. Resultados negativos se justificam pela falta de correlação das médias dos genótipos nestes ambientes.

Sendo assim, ao realizar a decomposição da interação demonstram a necessidade de analisar a adaptabilidade e estabilidade dos genótipos, principalmente para os que apresentaram interações do tipo complexa, uma vez que, este estudo demonstra o comportamento dos genótipos frente a variações ambientais, desvendando genótipos com comportamento previsível e responsivos aos estímulos ambientais.

A adaptabilidade e estabilidade, pelo método de Eberhart e Russell (1966) (Tabela 5) para produtividade, mostrou que os genótipos UFUJP-01, UFUJP-08, UFUJP-09, UFUJP-10, UFUJP-16 e UFUJP-17 não demonstraram diferença significativa,  $\beta_1 = 1$ , portanto, classificados como adaptabilidade ampla, que demonstra aproveitar vantajosamente os estímulos ambientais. Para estabilidade esses genótipos demonstram previsibilidade em relação

aos estímulos ambientais, sendo, portanto, adaptados e estáveis segundo o método, acrescidos de alta confiabilidade, pois todos apresentaram valores de  $R^2$  acima de 90%.

Em relação as médias de produtividades, os maiores resultados dos genótipos do Promalg, foram obtidos pelos genótipos UFUJP-16 e UFUJP-17, recomendados por apresentarem superioridade relativa em termos produtivos, quando inseridos neste ambiente. As testemunhas apresentaram produtividades maiores, contudo, ambas com baixa previsibilidades.

**Tabela 5.** Estimativa dos coeficientes de  $\beta_0$ ,  $\beta_{1i}$  e  $\sigma^2_{di}$  utilizando o método de Eberhart e Russell (1966) para produtividade algodão em caroço ( $kg\ ha^{-1}$ ), para 12 genótipos avaliados em 4 ambientes 2013/2014, 2014/2015, 2015/2016 e 2016/2017.

Genótipo	Média	$\beta_1$	$\sigma^2_{di}$	$R^2(%)$
UFUJP-01	1842,87	0,99 <sup>ns</sup>	-28274,12 <sup>ns</sup>	96,66
UFUJP-02	2342,64	0,99 <sup>ns</sup>	329376,36*	82,06
UFUJP-05	1845,62	0,64*	102076,19 <sup>ns</sup>	80,76
UFUJP-08	2032,59	0,92 <sup>ns</sup>	34255,80 <sup>ns</sup>	92,87
UFUJP-09	2283,07	1,17 <sup>ns</sup>	-8462,08 <sup>ns</sup>	96,94
UFUJP-10	2129,19	1,03 <sup>ns</sup>	124381,56 <sup>ns</sup>	90,60
UFUJP-11	2203,75	0,68*	-66318,54 <sup>ns</sup>	96,95
UFUJP-13	1829,41	0,68*	465810,49**	61,85
UFUJP-16	2364,50	1,02 <sup>ns</sup>	-85000,68 <sup>ns</sup>	99,52
UFUJP-17	2494,81	1,23 <sup>ns</sup>	-8378,17 <sup>ns</sup>	97,23
BRS-RUBI	2908,46	1,58*	747766,81**	85,58
BRS-TOPÁZIO	2829,15	1,04 <sup>ns</sup>	670632,70**	74,01

\*; \*\* Significativo a 5 e 1%, respectivamente; <sup>ns</sup> = Não significativo.

O genótipo UFUJP-13 é passível de descarte para estes ambientes, pois não demonstrou estabilidade, possuindo um valor de  $R^2$  baixo (61,85). A testemunha RC demonstra a maior produtividade entre os genótipos, e um  $\beta$  maior que 1, portanto, um genótipo com adaptabilidade específica a ambientes favoráveis. Entretanto, ao analisarmos sua estabilidade, apresenta baixa previsibilidade, o que indica superioridade inconsistente nos ambientes.

Pelo método de centróide, a máxima adaptação específica, não é o genótipo que aponta bom desempenho nos grupos de ambientes favoráveis ou desfavoráveis, mas, sim o indivíduo,

que demonstra valores máximos para determinado grupo de ambientes (favoráveis ou desfavoráveis) e mínimo para o outro ambiente (ROCHA et al., 2005). Na Tabela 6, 58% dos genótipos foram classificados como adaptabilidade geral alta, com alta estabilidade fenotípica para produtividade, ou seja, alta previsibilidade aos estímulos ambientais.

**Tabela 6.** Estabelecimento dos ideótipos, calculados pelo método Centróide, para produtividade ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) dos genótipos de algodoeiro, avaliados em 4 ambientes.

Genótipos	Médias Classificação	I	II	III	IV	V	VI	VII
UFUJP-01	1842,88	V	0,07	0,08	0,15	0,23	0,24	0,08
UFUJP-02	2342,64	V	0,09	0,10	0,12	0,12	0,26	0,10
UFUJP-05	1845,63	IV	0,06	0,06	0,24	0,28	0,16	0,06
UFUJP-08	2032,60	V	0,07	0,07	0,14	0,17	0,29	0,07
UFUJP-09	2283,07	V	0,09	0,10	0,09	0,09	0,36	0,10
UFUJP-10	2129,20	V	0,08	0,08	0,12	0,14	0,31	0,08
UFUJP-11	2203,76	VII	0,06	0,06	0,14	0,11	0,25	0,06
UFUJP-13	1829,41	IV	0,06	0,06	0,22	0,31	0,15	0,06
UFUJP-16	2364,51	V	0,06	0,06	0,07	0,07	0,50	0,07
UFUJP-17	2494,81	V	0,12	0,13	0,08	0,09	0,26	0,14
BRS-RUBI	2908,46	VI	0,18	0,25	0,06	0,06	0,10	0,26
BRS-TOPÁZIO	2829,15	I	0,18	0,14	0,09	0,08	0,16	0,18

I: Adaptabilidade geral alta; II: Adaptabilidade específica a ambientes favoráveis; III: Adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis; IV: Pouco adaptado; V: Adaptabilidade geral alta; VI: Adaptabilidade específica a ambientes favoráveis; VII: Adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis.

Os genótipos UFUJP-05 e UFUJP-13 são classificados como pouco adaptados, baixas estabilidade e adaptabilidade, e, portanto, passíveis de descarte. O genótipo UFUJP-11, este se encaixou como adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis e significativos em ambientes favoráveis, portanto, com potencial para inclusão em áreas com baixa tecnificação ou condições bióticas e abióticas desfavoráveis, pois mesmo nestas condições está propenso a obter bons resultados de produtividade.

Os resultados de comparação entre os métodos de centróide e Eberhart e Russell, corroboram com Pelúzio et al. (2008), que constatou, ao analisar cultivares de soja em quatro épocas no Tocantins, que os métodos de análise se complementam aumentando a confiabilidade na seleção e indicação de cultivares.

Pelas redes neurais artificiais, utilizando o conceito de classes na interpretação da adaptabilidade e estabilidade houve 91,6% de concordância com relação ao método de Eberhart e Russell (1966) quanto aos valores de adaptabilidade fenotípica dos genótipos (Tabela 7). Para estabilidade 75%, mudaram a classificação e não foram coincidentes. Por outro lado UFUJP-05, UFUJP-08 e UFUJP-11 figuram como os únicos que não diferiram seu comportamento entre os métodos.

**Tabela 7.** Média de produtividade e classificação de classe utilizando o método de redes neurais artificiais, para produtividade algodão em caroço (kg ha<sup>-1</sup>) de 12 genótipos avaliados em quatro ambientes 2013/14, 2014/15, 2015/16 e 2016/17.

Genótipos	Média	Classe
UFUJP-01	1842,87	1
UFUJP-02	2342,64	4
UFUJP-05	1845,62	6
UFUJP-08	2032,59	4
UFUJP-09	2283,07	1
UFUJP-10	2146,89	4
UFUJP-11	2203,75	3
UFUJP-13	1847,81	6
UFUJP-16	2364,50	1
UFUJP-17	2494,81	2
BRS-Rubi	2908,46	5
BRS-Topázio	2829,15	4

O baixo valor para estabilidade se deve a divergência do conceito do uso das redes neurais, que captura características mais complexas dos dados de entrada (TEODORO et al., 2015). Outra explicação, é que o método de Eberhart e Russell (1966) utiliza o conceito de estabilidade como invariância e não previsibilidade (NASCIMENTO et al., 2013). Outra consideração a ser feita, é o fato das RNA's estabelecer um R<sup>2</sup> de base para previsibilidade, com valor maior ou igual a 80% estabelecido pelo método, diferente do método tradicional.

Ventura (2012) encontrou coincidência de 26% para estabilidade entre o método *Best Linear Unbiased Prediction* (BLUP) e as redes neurais. Teodoro (2015) verificou maior semelhança para estabilidade com 70% de acurácia entre RNA's e Eberhart e Russell (1966), assim como Barroso (2013), que verificou 83% de semelhança para estabilidade entre RNA e

Eberhart e Russell (1966). Nascimento et al. (2013), ao analisarem 74 genótipos de alfafa, encontraram 89% e 77% de coincidência entre as classificações de adaptabilidade e estabilidade, respectivamente, entre os métodos.

A falta de consistência de Eberhart e Russell (1966), quando aplicada a pequeno número de ambientes ( $n < 10$ ), pode ocasionar a não rejeição de hipóteses nulas falsas. Isso poderia resultar nas divergências em relação as RNA's e, portanto, pode ser uma alternativa a esta limitação de menor número de ambientes (NASCIMENTO et al., 2013).

Há de se ponderar em relação as redes neurais, que estas utilizam de estrutura não linear, e que não necessitam de todas as informações detalhadas do processo de modelagem. Isto se deve ao modelo das redes, os quais possuem a característica de autoaprendizagem, portanto, auto potencial de seu uso no melhoramento de plantas (NASCIMENTO et al., 2013; TEODORO et al., 2015).

Ainda há de ressaltar que o método de RNA's também registrou grande concordância (75%) com o método centróide, quando analisamos a adaptabilidade. Houve divergência entre os métodos ao analisarmos os genótipos UFUJP-05 e UFUJP-13, que foram classificados como pouco adaptados ou mínima adaptabilidade pelo método centroide e na RNA's foram classificados como adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis com alta previsibilidade. Outra divergência foi para o genótipo UFUJP-17, que registrou adaptabilidade geral alta para centróide e em RNA's mudou a classificação para adaptabilidade específica para ambientes favoráveis com baixa previsibilidade.

É importante conhecer o desempenho dos genótipos nos ambientes. Pelo agrupamento de média (Tabela 8), a safra 2013/2014 foi o que obteve as melhores médias de produtividade, destacando-se como o melhor para a expressão fenotípica dos genótipos. Isto pode ser explicado pelas boas condições de temperaturas e precipitação de 726mm, acima do mínimo exigido pela cultura, distribuídas de forma a atender à exigência hídrica de todo ciclo. A baixa precipitação na fase de pós emergência e aumento gradativo no início de botões florais e no enchimento de maçãs, foram ideais para obtenção de altas produtividades. Após esse período, na colheita houve uma diminuição das precipitações, na última semana de maio, o que é benéfico para qualidade de fibra, uma vez que precipitações neste período depreciam a pluma no campo (BORÉM; FREIRE, 2014).

A safra 2014/2015 foi a que apresentou médias inferiores dos genótipos para expressão da produtividade. Este resultado se dá, em partes, por um ataque severo de *Alabama argilacea*, no período mais sensível a adversidades, que é a formação de maçãs por volta de 110 dias após a emergência (ROSOLEN, 2001). Este ataque ocasionou significativas perdas de área foliar e,

consequentemente, a diminuição da produção de fotoassimilados e do dreno para maçãs. Qualquer fator que cause desbalanço na síntese e disposição de carboidratos terá efeito direto na produtividade final, influenciando fortemente o enchimento dos frutos (ZHAO et al., 2005; SNIDER et al., 2009; YEATES et al., 2010). Há de se registrar que houve estresse hídrico durante todo seu estabelecimento no campo (679mm no ciclo), pois a cultura exige em todo seu desenvolvimento 720 mm de precipitações.

**Tabela 8.** Média de produtividade de algodão em caroço (kg ha<sup>-1</sup>) de 12 genótipos de algodoeiros em quatro safras, na cidade de Uberlândia-MG.

Genótipos	Safra 2013/2014	Safra 2014/2015	Safra 2015/2016	Safra 2016/2017
UFUJP-01	2501,66 Ac	131,26 Ba	2157,08 Aa	2628,56 Ac
UFUJP-02	3478,12 Ab	687,08 Ca	3135,62 Aa	2069,73 Bc
UFUJP-05	1972,50 Ad	647,71 Ba	2266,04 Aa	2496,26 Ac
UFUJP-08	2681,25 Ac	409,38 Ba	2743,96 Aa	2295,79 Ac
UFUJP-09	3630,00 Ab	381,04 Ca	2342,91 Ba	2778,33 Bc
UFUJP-10	2983,33 Ac	332,76 Ba	2969,17 Aa	2231,53 Ac
UFUJP-11	2841,87 Ac	1050,62 Ba	2572,08 Aa	2350,44 Ac
UFUJP-13	1687,50 Bd	486,88 Ca	2664,79 Aa	2499,31 Ac
UFUJP-16	3229,16 Ac	616,87 Ba	2642,50 Aa	2969,48 Ac
UFUJP-17	3689,58 Ab	449,37 Ca	2529,79 Ba	3310,48 Ab
BRS-Rubi	4670,00 Aa	387,92 Ca	2300,00 Ba	4275,93 Aa
BRS-Topázio	4665,00 Aa	1303,33 Ca	2401,46 Ba	2946,81 Bc

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na horizontal e minúsculas na vertical constituem grupo estatisticamente homogêneo pelo teste de Scott-Knott a 5 % de probabilidade, Ambiente 1= Safra 2013/14, Ambiente 2= Safra 2014/15, Ambiente 3 = Safra 2015/16 e Ambiente 4= Safra 2016/17.

A safra 2015/2016 apresentou resultados inferiores ao ambiente 1 e 4, que pode ser explicado pela diminuição da precipitação após os 90 dias de emergência, coincidindo com o período de enchimento de maçãs. De acordo com Echer (2014), falta de chuvas neste período reduziu a produção de carboidratos, que diminuiu a retenção de frutos, uma vez que os frutos mais novos serão abortados para suprir demanda das maçãs mais velhas, gerando perdas de

produtividade. Estresses hídricos no florescimento e frutificação reduzem significativamente a produtividade do algodoeiro, somada a depreciação na qualidade de fibra (BORÉM; FREIRE et al., 2014), apesar das precipitações terem ficado acima do exigido, com 797mm. Outro fato relevante foi que as temperaturas médias ( $22^{\circ}\text{C}$ ) foram consideradas abaixo do ideal para período reprodutivo, sendo o recomendado para a cultura  $28^{\circ}\text{C}$ , o que prejudicou o desenvolvimento reprodutivo (ECHER, 2014).

Na safra 2016/2017, a diminuição da produtividade foi fortemente influenciada pela alta incidência de bicudo do algodoeiro (*Antonomus grandis*), que pode ter provocado maior abortamento de botões e quedas de frutos. O bicudo é considerado a principal praga do algodoeiro, pois causa perdas significativas de produtividade. Outro fato que pode contribuir com a redução da produtividade foi a baixa precipitação neste período.

Apesar da distribuição uniforme de chuvas durante toda a safra 2016/2017, o valor registrado de precipitação foi de 555mm, 20% menor que o recomendado (720mm), o que pode ter contribuído para a menor produtividade. O estresse hídrico induz a planta a priorizar o crescimento das maçãs e capulhos maiores, resultando em maior abortamento e menor desenvolvimento vegetativo. Além disso, tal estresse reduziu a taxa fotossintética, pelo fato do déficit ocasionar o fechamento estomático para diminuir a perda de água e, em consequência disto, diminui também a entrada de CO<sub>2</sub> na planta, acarretando na diminuição da fotossíntese (LOKA et al., 2011; ECHER 2014).

Outro fato constatado neste ambiente é que o algodoeiro não atingiu os graus dias exigidos pela cultura, registrando  $1622^{\circ}\text{ dia}^{-1}$ , da emergência a colheita. Sendo que o necessário para o ciclo do algodão é de  $1970^{\circ}\text{ dia}^{-1}$  (ROSOLEM, 2011).

Destaca-se os genótipos UFUJP-17 e TC com os maiores potenciais produtivos para os ambientes avaliados. Ao contrário destes resultados, o genótipo UFUJP-13 demonstrou-se pouco favorecido pelas condições ambientais, com as menores médias. Este resultado corrobora com o método centróide.

Para as características tecnológicas da fibra (Tabela 09), pelo método de Eberhart e Russell, os genótipos UFUJP-02, UFUJP-08, UFUJP-09, UFUJP-11, UFUJP-13 e UFUJP-16, apresentaram adaptabilidade geral ( $\beta_1=1$ ) e previsibilidade alta ( $\sigma^2_{di}=0$ ). Os genótipos testemunhas apresentaram para UHML e STR adaptabilidade específica a ambientes favoráveis ( $B>1$ ) e baixa estabilidade para todas as características, portanto, não sendo previsíveis, além do mais apresentaram baixos R<sup>2</sup>, com exceção de ELG ( $\sigma^2_{di}>0$ ). É possível ainda destacar os genótipos UFUJP-10 e UFUJP-17, que apresentaram boa previsibilidade, encaixando-se como

adaptabilidade específica a ambientes favoráveis e elevados R<sup>2</sup>, indício de boa precisão (CRUZ; REGAZZI E CARNEIRO, 2014).

**Tabela 9.** Estimativa dos coeficientes de  $\beta_0$ ,  $\beta_1 i$  e  $\sigma^2 di$  utilizando o método de Eberhart e Russell (1966) para Comprimento de Fibra (mm) (UHML), Uniformidade de comprimento (UI), Índice de Fibras Curtas (SFI), Resistencia (STR) e Alongamento (ALG) em algodoeiro de fibra colorida, para 12 genótipos avaliados em 4 ambientes, nos anos 2013/14, 2014/15, 2015/16 e 2016/17.

Genótipos	UHML			UI			SFI			STR			ALG		
	$\beta_1$	$\sigma^2 di$	R <sup>2</sup> (%)	$\beta_1$	$\sigma^2 di$	R <sup>2</sup> (%)	$\beta_1$	$\sigma^2 di$	R <sup>2</sup> (%)	$\beta_1$	$\sigma^2 di$	R <sup>2</sup> (%)	$\beta_1$	$\sigma^2 di$	R <sup>2</sup> (%)
UFUJP-01	1,26 <sup>ns</sup>	-0,06 <sup>ns</sup>	68,68	0,07 <sup>ns</sup>	1,30*	0,31	0,55 <sup>ns</sup>	3,11*	3,64	0,96 <sup>ns</sup>	0,40 <sup>ns</sup>	26,80	1,56**	0,09 <sup>ns</sup>	93,77
UFUJP-02	0,36 <sup>ns</sup>	-0,22 <sup>ns</sup>	20,43	0,82 <sup>ns</sup>	-0,25 <sup>ns</sup>	69,81	1,19 <sup>ns</sup>	0,17 <sup>ns</sup>	31,81	0,13 <sup>ns</sup>	1,43 <sup>ns</sup>	0,36	1,17 <sup>ns</sup>	-0,01 <sup>ns</sup>	93,26
UFUJP-05	0,31 <sup>ns</sup>	1,48*	3,38	0,88 <sup>ns</sup>	-0,20 <sup>ns</sup>	70,32	1,45 <sup>ns</sup>	0,78 <sup>ns</sup>	33,99	-0,37 <sup>ns</sup>	-0,40 <sup>ns</sup>	12,67	0,99 <sup>ns</sup>	0,22 <sup>ns</sup>	80,29
UFUJP-08	-0,36 <sup>ns</sup>	-0,01 <sup>ns</sup>	14,25	0,71 <sup>ns</sup>	-0,34 <sup>ns</sup>	68,81	0,95 <sup>ns</sup>	0,41 <sup>ns</sup>	20,52	-0,73 <sup>ns</sup>	-0,06 <sup>ns</sup>	24,75	0,71 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	79,90
UFUJP-09	0,14 <sup>ns</sup>	-0,50 <sup>ns</sup>	12,85	0,49 <sup>ns</sup>	-0,26 <sup>ns</sup>	45,90	-0,66 <sup>ns</sup>	-0,33 <sup>ns</sup>	16,53	0,34 <sup>ns</sup>	-0,75 <sup>ns</sup>	30,09	0,68 <sup>ns</sup>	0,30 <sup>ns</sup>	60,92
UFUJP-10	1,40 <sup>ns</sup>	0,08 <sup>ns</sup>	68,65	1,23 <sup>ns</sup>	-0,39 <sup>ns</sup>	88,79	1,14 <sup>ns</sup>	-0,91 <sup>ns</sup>	50,86	0,93 <sup>ns</sup>	-0,07 <sup>ns</sup>	35,38	1,39**	-0,07 <sup>ns</sup>	96,85
UFUJP-11	0,94 <sup>ns</sup>	-0,23 <sup>ns</sup>	64,47	0,98 <sup>ns</sup>	-0,59 <sup>ns</sup>	95,56	0,68 <sup>ns</sup>	-0,82 <sup>ns</sup>	24,94	-0,08 <sup>ns</sup>	-0,38 <sup>ns</sup>	0,71	1,08 <sup>ns</sup>	-0,17 <sup>ns</sup>	99,91
UFUJP-13	1,11 <sup>ns</sup>	-0,42 <sup>ns</sup>	84,07	1,33 <sup>ns</sup>	-0,57 <sup>ns</sup>	96,80	1,14 <sup>ns</sup>	0,15 <sup>ns</sup>	30,08	1,04 <sup>ns</sup>	-0,18 <sup>ns</sup>	43,70	1,11 <sup>ns</sup>	-0,09 <sup>ns</sup>	96,04
UFUJP-16	1,24 <sup>ns</sup>	-0,19 <sup>ns</sup>	73,88	1,13 <sup>ns</sup>	-0,23 <sup>ns</sup>	80,31	0,46 <sup>ns</sup>	-0,77 <sup>ns</sup>	12,24	0,67 <sup>ns</sup>	-0,53 <sup>ns</sup>	39,51	1,26 <sup>ns</sup>	-0,05 <sup>ns</sup>	95,41
UFUJP-17	0,67 <sup>ns</sup>	0,57 <sup>ns</sup>	22,23	1,87**	-0,33 <sup>ns</sup>	93,74	2,62 <sup>ns</sup>	0,41 <sup>ns</sup>	66,49	0,15 <sup>ns</sup>	0,63 <sup>ns</sup>	0,72	1,09 <sup>ns</sup>	-0,15 <sup>ns</sup>	98,99
BRS-Rubi	3,21**	8,75**	45,02	0,74 <sup>ns</sup>	4,82**	11,98	1,36 <sup>ns</sup>	17,05**	5,57	6,11**	10,99**	61,83	0,38 <sup>ns</sup>	0,22 <sup>ns</sup>	36,91
TC	1,72 <sup>ns</sup>	3,20**	36,75	1,74 <sup>ns</sup>	2,29**	58,20	1,13 <sup>ns</sup>	4,11**	11,62	2,85**	3,83**	47,02	0,58 <sup>ns</sup>	0,29 <sup>ns</sup>	54,01

\*; \*\* Significativo a 5 e 1%, respectivamente; <sup>ns</sup> Não significativo. TC= Topázio

Contudo, adaptabilidade e estabilidade por Eberhart e Russell leva em consideração os valores das médias dos genótipos mais adaptados e estáveis, registrados na Tabela 10. As médias mais promissoras foram de UFUJP-02, UFUJP-13. O genótipo UFUJP-17 é considerado promissor, de forma geral, desde que os ambientes sejam favoráveis ao seu desenvolvimento.

**Tabela 10.** Estimativa dos coeficientes de  $\beta_0$  (médias) utilizando o método de Eberhart e Russell (1966) para Comprimento de Fibra (mm) (UHML), Uniformidade de comprimento (UI), Índice de Fibras Curtas (SFI), Resistência (STR) e Alongamento (ALG) em algodoeiro de fibra colorida, para 12 genótipos avaliados em 4 ambientes, nos anos 2013/14, 2014/15, 2015/16 e 2016/17.

Genótipos	UHML	UI	SFI	STR	ALG
UFUJP-01	24,02	78,80	14,54	21,89	9,35
UFUJP-02	24,27	78,35	14,05	22,26	8,61
UFUJP-05	23,51	77,76	15,96	21,25	9,21
UFUJP-08	23,89	78,22	15,26	21,59	8,83
UFUJP-09	23,54	77,35	15,75	21,00	8,69
UFUJP-10	24,04	77,73	14,97	21,84	8,95
UFUJP-11	23,39	78,51	14,73	21,16	9,38
UFUJP-13	23,62	78,01	14,65	22,14	8,66
UFUJP-16	23,31	77,61	15,06	21,54	9,09
UFUJP-17	24,13	77,42	15,19	21,41	9,03
BRS RUBI	25,09	79,42	13,91	23,78	8,12
BRS-TOPÁZIO	27,16	79,57	11,28	25,35	7,79

Ressalta-se que o UHML se correlaciona fortemente com STR e ALG e UI. Fios mais longos afetam diretamente em sua qualidade, que refletirá no processo de fiação na indústria têxtil (IMAMT, 2014; JERÔNIMO et al., 2014). A característica UHML foram classificados como fibras curtas (23,31 a 25,09), com exceção de TC, classificado como fibra média (27,16). Resultados similares foram encontrados por Neto (2014), onde avaliando qualidade de fibra de algodão colorido, encontrou para as mesmas cultivares comerciais valores de UHML entre 21,40 a 32,62mm.

O valor de UI foi classificado como irregular (77 a 79%) para todos os genótipos, abaixo das cultivares comerciais avaliados por Câmara (2014), com valores entre 82% a 85%. Os valores de STR ficaram com valores classificado como baixos.

O ALG ficou caracterizado como muito alto, o que em parte pode ser explicado pela maior deposição de cera em suas fibras coloridas, aumentando o valor de ALG, principalmente, se comparado ao algodão de fibra branca (BELLETTINI, 2011).

O SFI foi classificado como médio para TC e alto para os demais genótipos, não sendo favoráveis no processo de fiação. Estes valores podem ter sido afetados pelas serras no processo de descaroçamento, que influenciam diretamente os resultados desta característica (JERÔNIMO, 2014). De forma geral, os valores das características são inferiores quando comparado a cultivares comerciais de fibra branca, mas, segundo Carvalho e Santos (2003), quanto maior a coloração, menores são as médias das características tecnológicas da fibra.

Pelo método do Centróide (Tabela 11), de forma conjunta, os genótipos UFUJP-02, UFUJP-08, UFUJP-10, UFUJP-13 e UFUJP-16, apresentaram adaptabilidade geral alta, ou seja, alta estabilidade fenotípica. UFUJP-17 apresentou para SFI, adaptabilidade geral a ambientes específicos. Para as demais características, os genótipos foram classificados como adaptabilidade geral alta. Por este método UFUJP-09 e TC seriam passíveis de descarte.

**Tabela 11.** Estabelecimento dos ideótipos, calculados pelo método Centróide, para comprimento de Fibra (mm) (UHML), Uniformidade de comprimento (UI), Índice de Fibras Curtas (SFI), Resistência (STR) e Alongamento (ALG) em algodoeiro de fibra colorida, para 12 genótipos avaliados em 4 ambientes, nos anos 2013/14, 2014/15, 2015/16 e 2016/17.

Genótipos	UI	SFI	STR	ELG	UHML
UFUJP-01	VII	V	V	VI	V
UFUJP-02	V	V	V	V	V
UFUJP-05	V	VI	IV	VII	V
UFUJP-08	V	V	V	V	V
UFUJP-09	IV	VII	IV	V	V
UFUJP-10	V	V	V	V	V
UFUJP-11	V	V	IV	VII	V
UFUJP-13	V	V	V	V	V
UFUJP-16	V	V	V	V	V
UFUJP-17	V	VI	V	V	V
BRS-RUBI	I	II	II	IV	VI
BRS-TOPÁZIO	VI	IV	I	IV	I

I: Adaptabilidade geral alta; II: Adaptabilidade específica a ambientes favoráveis; III: Adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis; IV: Pouco adaptado; V: Adaptabilidade geral alta; VI: Adaptabilidade específica a ambientes favoráveis; VII: Adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis

Os métodos se complementam e reforçam-se nas predições dos resultados, com semelhanças pelos genótipos representados por UFUJP-02, UFUJP-08, UFUJP-13 e UFUJP-16 e UFUJP-17, ou seja, coincidência de 83,3%. As únicas exceções foram UFUJP-10 e UFUJP11. Farias (2016), ao analisar adaptabilidade e estabilidade em híbridos de milho, também encontrou semelhanças entre os métodos Centróide e Eberhart e Russell (1966).

A semelhança dos resultados confere um maior poder de confiabilidade ao melhorista, evitando erros na escolha dos genótipos adaptados a região, nas circunstâncias em que se deseja inseri-los.

### **3.4. Conclusões**

A interação GxA para os caracteres relacionados a qualidade da fibra em algodão colorido, os genótipos do Promalg são predominantemente de natureza simples, e produtividade complexa, com alta adaptabilidade e estáveis.

Os genótipos UFUJP-02 e UFUJP-17 demonstraram os maiores potenciais produtivos entre os genótipos PROMALG, com estabilidade e adaptabilidade em todos os métodos.

Os genótipos UFUJP-02, UFUJP-08, UFUJP-13 e UFUJP-16 e UFUJP-17 apresentaram médias promissoras de características de fibra e boa adaptabilidade e estabilidade, sendo recomendados para a cidade de Uberlândia.

O genótipo UFUJP-11 pode ser recomendado a pequenos produtores por apresentar adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis.

Há concordância entre o método de Eberhart e Russell e centróide quando comparados ao método das RNA's para adaptabilidade.

## REFERÊNCIAS

ABRAPA (Ed.). **Consumo mundial**. Disponível em:  
 <<http://www.abrapa.com.br/Paginas/dados/algodao-no-mundo.aspx>>. Acesso em: 01 jan. 2018.

BARROSO, L. P.; ARTES, R. **Análise multivariada**. Lavras: Ufla, 2003.

BARROSO, L. M. A.; NASCIMENTO, M.; NASCIMENTO, A. C. C.; Silva, F. F.; Ferreira, R. D. P. Uso do Método de Eberhart e Russell como informação a priori para aplicação de redes neurais artificiais e análise discriminante visando a classificação de genótipos de alfafa quanto à adaptabilidade e estabilidade fenotípica. **Revista Brasileira de Biometria**, Lavras – MG, Brasil, v. 31, n. 2, p. 176-188, 2013.

BEALE, M. H.; HAGAN, M.; DEMUTH, H. B. Neural network performance-MATLAB cross entropy-the MathWorks United Kingdom. **Mathworks**. Com, 2017.

BELLETTINI, S.; DOS SANTOS, K. H.; BELLETTINI, N. M. T.; MIGLIORANZA, E.; CHIMBO JUNIOR, A.; DA SILVA, D. P.; NAGASHIMA, G. Comportamento a campo de cultivares de algodão colorido no norte do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 8.; COTTON EXPO, 1., 2011, São Paulo. Evolução da cadeia para construção de um setor forte. **Anais...** Campina Grande, PB: Embrapa Algodão, 2011.

BELTRÃO, N. E. M.; CARVALHO, L. P. **Algodão colorido no Brasil, e em particular no Nordeste e no Estado da Paraíba** Paraíba, Brasil: Embrapa Algodão-Dокументos (INFOTECA-E), 2004.

BORÉM, A.; FREIRE, E. C. **Algodão**: do plantio a colheita. Minas Gerais: UFV, 2014.

CÂMARA, N. T. **Avaliação das propriedades das fibras de algodões coloridos naturalmente e ecologicamente corretas cultivados nos assentamentos do município de Guamaré/RN**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2014.

CARVALHO, L. P.; SANTOS, J. W. Respostas correlacionadas do algodoeiro com a seleção para a coloração da fibra. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, Brasil, v. 38, n. 1, p. 79-83, 2003. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2003000100011>

CARVALHO, L.P.; SALGADO C.C.; FARIA F. J. C.; CARNEIRO V. Q. Estabilidade e adaptabilidade de genótipos de algodão de fibra colorida quanto aos caracteres de fibra. **Ciência Rural**, Local de publicação, v. 45, p. 598-605, 2015.

CAVALCANTE, A. C. P.; DINIZ, B. L. M. T.; SILVA, A. G.; NETO, M. A. D.; OLIVEIRA, D. S.; CAVALCANTE, A. P. Crescimento, produção e características tecnológicas da fibra de algodão colorido em diferentes coberturas no solo. **Agropecuária Técnica**, Areia, Paraíba, Brasil, v. 36, n.1, 240-247, 2015.

Companhia Nacional de Abastecimento CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**, v. 5, n. 3, safra 2017/18, terceiro levantamento, dezembro 2017. Disponível em:

<[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17\\_12\\_12\\_17\\_59\\_52\\_dezembro.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_12_12_17_59_52_dezembro.pdf)>. Acesso em: 01 jan. 2018.

CRUZ, C. D. Genes Software: extended and integrated with the R, Matlab and Selegen. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, Paraná, Brazil, v. 38, n.4, p.547-552, 2016.

CRUZ, C. D. **Programa genes**: diversidade genética. Viçosa: UFV, 2006. 278 p.

CRUZ, C. D.; FERREIRA, F. M.; PESSONI, L. A. **Biometria aplicada ao estudo da diversidade genética**. Viçosa: Suprema, 2011. p. 2-28.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3. ed. Viçosa: Editora UFV, 2014.

CRUZ, C. D.; CASTOLDI, F. L. Decomposição da interação genótipos x ambientes em partes simples e complexa. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, Brasil, v. 38, p. 422-430, 1991.

EBERHART, S. A.; RUSSELL, W. A. Stability parameters for comparing varieties. **Crop Science**, Madison, WI, v.6, p.36-40, 1966.

<https://doi.org/10.2135/cropsci1966.0011183X000600010011x>

ECHER, F. R. **O algodoeiro e os estresses abioticos**: temperatura, luz, água e nutrientes. Cuiabá: Embrapa Agropecuária Oeste-Outras publicações científicas (ALICE), 2014.

FARIA, S. V. **Adaptabilidade e estabilidade de híbridos comerciais de milho pelos métodos de eberhart e Russell, centróide, ammi e modelos mistos**.45 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) - Universidade de Federal de Viçosa, Minas Gerais. Brasil, 2015.

FINLAY, K. W.; WILKINSON, G. N. The analysis of adaptation in a plant-breeding programme. **Australian Journal of Agricultural Research**, Clayton South, VIC, Australia, v.14, p.742-754, 1963. <https://doi.org/10.1071/AR9630742>

GOMES, D. A. **Interação genótipos x ambientes sobre as características da fibra do algodoeiro**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais, Brasil, 2017.

GRIMES, D. W.; EL-ZIK, K.M. Cotton. In: STEWART, B.A.; NIELSEN, D.R. **Irrigation of Agricultural Crops**. Madison: American Society of Agronomy, 1990. p.741-773.

HAYKIN, S. **Neural networks and learning machines**. 3. ed. New York: Prentice Hall, 2009. 936 p.

Instituto Mato-grossense de algodão. A classificação do algodão. Disponível em:  
<[http://www.imamt.com.br/system/anexos/arquivos/238/original/3\\_-\\_MANUAL\\_15\\_19.pdf?1404999627 2014](http://www.imamt.com.br/system/anexos/arquivos/238/original/3_-_MANUAL_15_19.pdf?1404999627 2014)> Acesso 01 Jan 2018.

JERÔNIMO, J. F.; ALMEIDA, F.; SILVA, O. R. R. F.; BRANDÃO, Z. N.; SOFIATTI, V.; GOMES, J. P. Qualidade da semente e fibra de algodão na caracterização do descaroçador de 25 serras. **Embrapa Algodão-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2014.

JÚNIOR, E. G. S.; CARDOSO, D. B. O.; REIS, M. C.; NASCIMENTO, A. F. O.; BORTOLIN, D. I.; MARTINS, M. R.; SOUSA, L. B. Cotton genotypes selection through artificial neural networks. **Genetics and molecular research: GMR**, Ribeirão Preto, SP Brasil, v.16, n. 3, 2017.

LOKA, D. A.; OOSTERHUIS, D. M.; RITCHIE, G. L. Water-deficit stress in cotton. **Stress physiology in cotton, Cordova, tennessee, U.S.A**, v. 7, p. 37-72, 2011

NASCIMENTO, M.; CRUZ, C. D.; CAMPANA, A. C. M.; TOMAZ, R. S.; SALGADO, C. C; FERREIRA, R. P. Alteração no método centroide de avaliação da adaptabilidade genotípica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, Brasil, v.44, p. 263-269, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2009000300007>

NASCIMENTO, M.; PETERNELLI, L. A.; CRUZ, C. D.; NASCIMENTO, A. C. C.; FERREIRA, R. D. P.; BHERING, L. L.; SALGADO, C. C. Artificial neural networks for adaptability and stability evaluation in alfalfa genotypes. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa - MG - Brasil, v. 13, n. 2, p. 152-156, 2013.

NETO, J. C. **Divergência e controle genético de caracteres de produção e qualidade de fibra do algodão colorido**. Tese de Doutorado em agronomia. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza- CE, Brasil, 2014.

PELUZIO, J. M.; FIDELIS, R. R.; JÚNIOR, D. A.; DOS SANTOS, G. R.; DIDONET, J. Comportamento de cultivares de soja sob condições de várzea irrigada no sul do estado do Tocantins, entressafra 2005. **Bioscience Journal**, Uberlândia, MG, Brasil, v. 24, n. 1, 2008.

PFANN, A. Z. **Adaptabilidade e estabilidade de híbridos comerciais de milho na região Centro-Sul do Paraná na safra 2008/2009**. Dissertação (mestrado agronomia) - Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, Paraná, Brasil, 2010.

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. D. F.; SANTOS, J. D.; NUNES, J. A. R. **Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas**. Lavras: Ed. UFLA, 2012, 522 p.

RAO, R. C. **Advanced statistical methods in biometrics research**. New York: John Wiley and Sons, 1962. 390 p.

ROCHA, B. R.; MURO-ABAD, J. I.; FERNANDES A, E.; CRUZ, C. D. Avaliação do método centróide para estudo de adaptabilidade ao ambiente de clones de *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, Santa Maria - RS – BRASIL, v. 15, n. 3, 2005.

ROSOLEM, C A. Ecofisiologia e manejo da cultura do algodoeiro. **Informações Agronômicas**, Georgia, USA, v. 95, p. 1-9, 2001.

SANTOS, J. W.; MOREIRA, J. D. A. N.; FARIAS, F. J. C.; FREIRE, E. C. Avaliação dos coeficientes de variação de algumas características da cultura do algodão: uma proposta de classificação. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, PB, Brasil, v. 2, n. 1, p 35-40, jan-abr 1998.

SNIDER, J. L.; OOSTERHUIS, D. M.; SKULMAN, B. W.; KAWAKAMI, E. M. Heat stress-induced limitations to reproductive success in *Gossypium hirsutum*. **Physiology Plant**, Lund Sweden, v.137, p. 125-138, 2009.

TEODORO, P. E.; BARROSO, L. M. A.; NASCIMENTO, M.; TORRES, F. E.; SAGRILLO, E.; SANTOS, A.; RIBEIRO, L. P. Redes neurais artificiais para identificar genótipos de feijão caupi semiprostrado com alta adaptabilidade e estabilidade fenotípicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, Brasil, v. 50, n. 11, p. 1054-1060, 2015.  
<https://doi.org/10.1590/S0100-204X2015001100008>

VASCONCELOS, S. E.; SILVA, M. R.; SEDIYAMA, T.; CRUZ, C. D. Produtividade de grãos, adaptabilidade e estabilidade de genótipos de soja de ciclos precoce e médio. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 36, n. 3, 2015.

DOS SANTOS, J. W.; MOREIRA, J. D. A. N.; FARIAS, F. J. C.; FREIRE, E. C. Avaliação dos coeficientes de variação de algumas características da cultura do algodão: uma proposta de classificação. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, PB, v. 2, n. 1, 1998.

SOUSA L.B. **Diversidade fenotípica e molecular, correlações entre caracteres, adaptabilidade e estabilidade de genótipos de soja**. (Tese doutorado em agronomia). Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2013.

VENTURA, R. V.; SILVA, M. A.; MEDEIROS, T. H.; DIONELLO, N. L.; MADALENA, F. E.; FRIDRICH, A. B.; FELIPE, V. P. S. Use of artificial neural networks in breeding values prediction for weight at 205 days in Tabapuã beef cattle. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte MG - Brazil, v. 64, n. 2, p. 411-418, 2012.

YEATES, S. J.; CONSTABLE, G. A.; MCCUMSTIE, T. Irrigated cotton in the tropic aldry season. In: YIELD, ITS COMPONENTS AND CROP DEVELOPMENT. **Field Crops Research**, v. 116, n. 3, p. 278-289, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2010.01.005>

ZHAO, D.; REDDY, K. R.; KAKANI, V. G.; KOTI, S.; GAO, W. Physiological causes of cotton fruit abscission under conditions of high temperature and enhanced ultraviolet-B radiation. **Physiology Plant**, Lund, Sweden, v. 124, p. 189-199, 2005.  
<https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2005.00491.x>

## CAPÍTULO 3

### **DIVERSIDADE GENÉTICA ENTRE GENÓTIPOS DE ALGODEIRO COLORIDO PARA A OBTENÇÃO DE GENITORES SUPERIORES**

## 4. DIVERSIDADE GENÉTICA ENTRE GENÓTIPOS DE ALGODEIRO COLORIDO PARA OBTENÇÃO DE GENITORES SUPERIORES

### 4.1. Resumo

O algodeiro é uma das principais *commodities* mundiais. Dentre as espécies mais cultivas o *Gossypium hirsutum* se destaca em importância com crescente aumento de produtividade, sendo a mais produzida do gênero no mundo. Para manter e incrementar ainda mais a produtividade de algodão em caroço, bem como de pluma, é essencial nos programas de melhoramento a existência de divergência genética e cultivares elite para realizar hibridações, com o intuito de aumentar as possibilidades de se obter maior efeito heterótico, além de prevenir o estreitamento da base genética do algodeiro. Com base no exposto, o objetivo deste trabalho foi analisar a diversidade genética entre genótipos de algodeiro de fibra colorida utilizando características tecnológicas da fibra, assim como dados de produtividade, para identificação de potenciais de genitores. O experimento foi conduzido na fazenda experimental Capim Branco (18°52'S;48°20'W e 805m), pertencente à Universidade Federal de Uberlândia, no município de Uberlândia, Minas Gerais, na safra 2016/2017. Foram utilizados 12 genótipos de fibra colorida (UFUJP-01, UFUJP-02, UFUJP-05, UFUJP-08, UFUJP-09, UFUJP-10, UFUJP-11, UFUJP-13, UFUJP-16, UFUJP-17 e as cultivares comerciais da Embrapa BRS-Rubi e BRS-Topázio) em delineamento de blocos casualizados. Estimou-se os coeficientes de correlação fenotípica e genotípica entre as características *Micronaire* (MIC), Maturação (MAT), Comprimento de Fibra (UHML), Uniformidade de Comprimento (UI), Índice de Fibras Curtas (SFI), Resistência de fibra (STR), Alongamento (ELG), Produtividade (PROD) e Rendimento de fibra (RP). Utilizou-se o método de Singh para avaliar as contribuições relativas das características na divergência. Para estimar a divergência genética, tomou-se como base a matriz generalizada de Mahalanobis e, posteriormente, utilizou-se os métodos de agrupamentos de Ligação Média entre os Grupos (UPGMA) e o método Tocher. Pela contribuição relativa de Singh UHML e MAT foram as características que mais contribuíram para a divergência. Nas análises de dissimilaridade, o dendrograma obtido pelo método UPGMA, o coeficiente de correlação cofenética foi de 0,84, que comprova a consonância do dendrograma com as dissimilaridades entre os pares de genótipos, portanto boa representatividade. Formaram-se cinco grupos divergentes, um a menos que Tocher com 6 grupos. Verificou-se que possíveis hibridações entre UFUJP-17 e as cultivares comerciais podem ser promissoras para obtenção de populações segregantes com maior variabilidade genética. Visando o aumento do potencial produtivo e melhorias da qualidade de fibra, cruzamentos entre UFUJP-16 e as testemunhas comerciais teriam maior chance de se obter êxito no programa de melhoramento.

**Palavras-chave:** Fibra colorida; *Gossypium hirsutum*; Dissimilaridade genética.

#### 4.2. Abstract

Cotton is one of the world's leading commodities. Among the most cultivated species *Gossypium hirsutum* stands out in importance with increasing productivity, being the most produced of the genus in the world. In order to maintain and increase productivity, it is essential in breeding programs for the existence of genetic divergence and elite cultivars to carry out hybridizations, in order to increase the chances of obtaining a greater heterotrophic effect, besides preventing the genetic base of the cotton. Based on the foregoing, the objective of this work was to analyze the genetic diversity among cotton fiber genotypes using fiber technological characteristics, as well as productivity data, to identify potential parents. The experiment was conducted at the Capim Branco experimental farm ( $18^{\circ}52'S$ ,  $48^{\circ}20'W$  and 805m), belonging to the Federal University of Uberlândia, in the city of Uberlândia, Minas Gerais, in the 2016/2017 harvest. Twelve colored fiber genotypes were used (UFUJP-01, UFUJP-05, UFUJP-05, UFUJP-08, UFUJP-09, UFUJP-10, UFUJP-11, UFUJP-13, UFUJP-16, UFUJP-17 and cultivars commercial applications of Embrapa BRS-Rubi and BRS-Topázio) in a randomized complete block design. It was estimated the phenotypic and genotypic correlation coefficients among the characteristics Micronaire (MIC), Maturation (MAT), Fiber Length (UHML), Uniformity of Length (UI), Short Fiber Index (SFI), Fiber Strength, Elongation (ELG), Productivity (PROD) and Fiber yield (RP). The Singh method was used to evaluate the relative contributions of the characteristics in the divergence. In order to estimate the genetic divergence, the Mahalanobis generalized matrix was used as the basis, and the Groups of Medium Binding (UPGMA) and Tocher methods were later used. By the relative contribution of Singh UHML and MAT were the characteristics that contributed most to the divergence. In the dissimilarity analyzes, the dendrogram obtained by the UPGMA method, the co-expressed correlation coefficient was 0.84, which confirms the dendrogram consonance with the dissimilarities between the pairs of genotypes, and therefore good representativity. Five divergent groups were formed, one less than Tocher with 6 groups. It has been found that possible hybridizations between UFUJP-17 and commercial cultivars may be promising to obtain segregant populations with greater genetic variability. Aiming at increasing productive potential and improving fiber quality, crosses between UFUJP-16 and commercial witnesses would have a greater chance of success in the breeding program.

**Keywords:** Colored fiber; *Gossypium hirsutum*; Genetic dissimilarity.

### 4.3. Introdução

O algodão é cultivado em mais de 60 países nos cinco continentes e os países que figuram como maiores produtores mundiais são a Índia, China, Estados Unidos, Paquistão e o Brasil. Nesta ampla diversidade de ambientes, há registro de 52 espécies de algodoeiro, sendo o *Gossypium hirsutum* responsável por mais de 90% da produção mundial de algodão (BORÉM; FREIRE, 2014; ABRAPA 2017).

É considerada a fibra têxtil natural mais importante do mundo, por vestir quase metade da população global. Além disso, é utilizado também na produção de biodiesel, na alimentação animal, na alimentação humana, em produtos farmacêuticos, fitoterápicos e em óleos (ZONTA, 2015).

Diante destas diversas cadeias produtivas movidas pela cultura, o algodão de fibra colorida vem se destacando consideravelmente nos últimos anos. Essa relevância se deve ao fato de serem naturalmente coloridas, o que diminui a quantidade de água utilizada na indústria no momento do tingimento, além de reduzir os custos de produção, e consequentemente, diminuir a poluição ambiental decorrentes dos corantes utilizados no processo (DUTT et al., 2004).

Contudo, o algodão colorido deve primeiramente atender as necessidades dos produtores e, posteriormente, as exigências da indústria de fiação e tecelagem. A nível de campo as cultivares devem ser produtivos, uniformes quanto ao porte e ciclo, além de resistentes às principais pragas e doenças. Na indústria, as características tecnológicas da fibra são fatores primordiais na obtenção da matéria prima de qualidade na tecelagem (PENNA, 2005; NETO et al., 2015).

No melhoramento de algodoeiro todos esses aspectos devem ser considerados e, para atingir estas metas, é preciso realizar estudos de diversidade entre os genitores. Tais estudos são fundamentais para aumentar as chances de sucesso em um programa de melhoramento (BORÉM; FREIRE, 2014; NETO et al., 2015). Nesse sentido, a diversidade genética é pilar fundamental no melhoramento, pois fornece informações que possibilitam identificar combinações híbridas superiores com maior efeito heterótico e maior heterozigose, na intenção de recuperar os genótipos superiores e alcançar o objetivo do programa (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2014).

A diversidade entre os progenitores pode ser mensurada por meio de técnicas biométricas que quantificam a heterose ou por meio de processos preditivos. Nesta predição da diversidade, os métodos multivariados são os mais aplicados, com destaque para a análise

dos componentes principais, variáveis canônicas e métodos aglomerativos, que se destacam por dependerem de medidas de dissimilaridade estimadas de modo prévio, sendo a distância generalizada de Mahalanobis, a mais utilizada entre todas (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2014).

A distância generalizada de Mahalanobis ( $D^2$ ) leva em consideração a correlação entre as características avaliadas. Deste modo, utiliza as médias dos genótipos e a matriz de covariância residual obtidas em experimentos com repetições (MULATO et al., 2010; CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2014).

Por meio da matriz de dissimilaridade, utiliza-se os métodos de agrupamento na visualização de grupos homogêneos, sendo que os métodos hierárquicos e otimizados são os mais usuais nos programas de melhoramento (FERRAUDO, 2010; CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2014).

Resende et al. (2014) avaliaram a divergência genética entre 248 acessos de algodoeiro, para características tecnológicas da fibra, do banco de germoplasma da Epamig, por meio da distância generalizada de Mahalanobis e agrupamento Tocher, com o objetivo de selecionar acessos divergentes baseados nas características tecnológicas da fibra encontrando 14 grupos distintos.

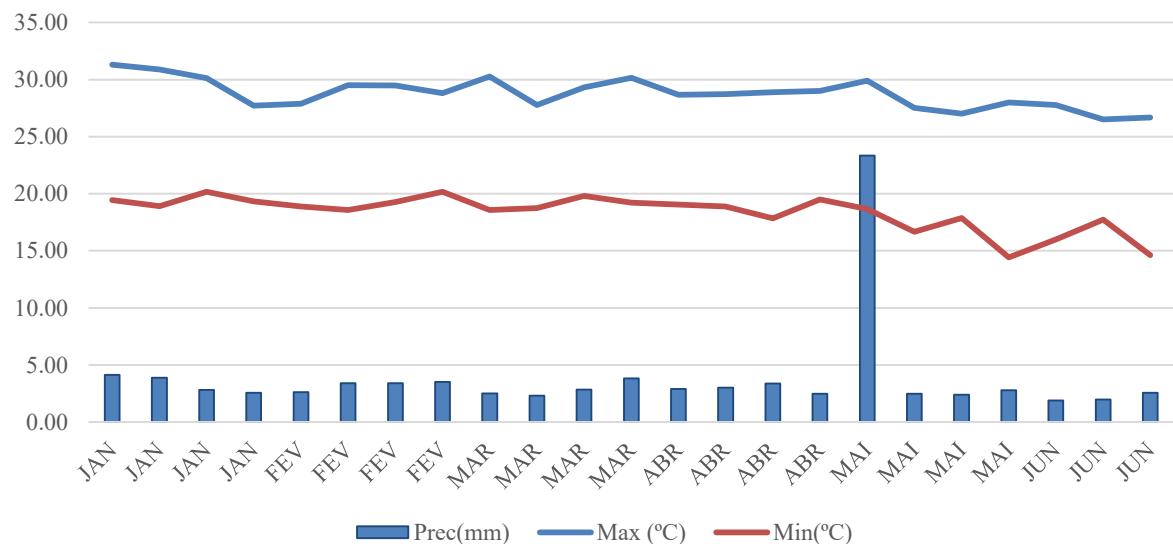
Da mesma forma, Violatti (2016), avaliando 21 genótipos de algodoeiro (*G. hirsutum*), também utilizou métodos de agrupamentos baseados na matriz de Mahalanobis, calculada a partir das características tecnológicas da fibra para identificar as melhores combinações para futuras hibridações, encontrou 6 grupos pelo método de Tocher. Já Cunha (2015), avaliando genitores de algodoeiro branco e colorido com potencial de híbridos de fibra colorida, encontrou maior divergência entre as cultivares de fibra branca.

Com base no exposto, o objetivo deste trabalho foi analisar a diversidade genética entre genótipos de algodoeiro de fibra colorida, utilizando características tecnológicas da fibra e produtividade na obtenção de genitores em potencial.

#### **4.4. Material e métodos**

O experimento foi conduzido na Universidade Federal de Uberlândia, na safra 2016/2017. Os dados foram obtidos em experimentos conduzidos na fazenda experimental Capim Branco ( $18^{\circ}52'S; 48^{\circ}20'W$  e 805m de altitude), pertencente à Universidade Federal de Uberlândia, no município de Uberlândia, Minas Gerais.

A área situa-se sobre um Latossolo Vermelho Escuro, com textura argilosa. O preparo do solo foi realizado de forma convencional, com uma aração e duas gradagens. Antes da semeadura, a área foi sulcada e adubada, conforme necessidade pela análise de solo. As condições climáticas da safra, com temperaturas máximas, mínimas e precipitações estão representadas na Figura 7.



**Figura 7.** Dados meteorológicos no período de 12/2016 a 30/06/2017.

Foram avaliados 12 genótipos de algodoeiro de fibra colorida (UFUJP-01, UFUJP-02, UFUJP-05, UFUJP-08, UFUJP-09, UFUJP-10, UFUJP-11, UFUJP-13, UFUJP-16, UFUJP-17, BRS Rubi e BRS Topázio). O delineamento utilizado foi de blocos completos casualizados (DBC) com quatro repetições. A parcela constituiu-se de quatro linhas de 5 m de comprimento espaçadas por um metro, sendo a área útil da parcela as duas linhas centrais, desprezando-se 0,5 m de cada extremidade.

As sementes foram tratadas com o fungicida Carboxina-Tiram – nome comercial Vitavax®-Thiram 200 SC e inseticida Tiometoxam – nome comercial Cruiser® 350 FS. A semeadura foi realizada de forma manual em 16 de dezembro de 2016, com 16 sementes por metro linear a 2 cm de profundidade. O desbaste foi realizado com 30 dias após a emergência, deixando-se oito plantas por metro linear.

O controle das plantas daninhas foi realizado ao longo do ciclo da cultura, utilizando herbicidas em pré e pós-emergência (Diuron, e Piritiobaque-sódico 280 g L<sup>-1</sup>, respectivamente) complementados com capinas manuais. O controle de pragas foi realizado com aplicações de inseticidas e acaricidas de acordo com as recomendações para a cultura. Durante o ciclo da

cultura, foram feitas aplicações com regulador de crescimento cloreto de mepiquat (1,1-dimethylpiperidinium chloride) de acordo com as recomendações.

Colheu-se a área útil de cada parcela e, posteriormente, pesou-se para calcular a produtividade de algodão em caroço. As amostras foram acondicionadas em sacos de papéis devidamente identificados. O material foi posteriormente beneficiado no laboratório da Fazenda Capim Branco, com a finalidade de separar as fibras das sementes.

Após o beneficiamento, as fibras foram levadas ao laboratório Minas Cotton - Central de Classificação de Fibra em Uberlândia-MG, onde realizou a análise das características tecnológicas das fibras de cada parcela utilizando o aparelho HVI (*High Volume Instruments*).

As características avaliadas foram: índice *Micronaire*, maturidade da fibra, resistência da fibra, comprimento da fibra, uniformidade do comprimento, alongamento e índice de fibras curtas.

O índice *micronaire* (MIC) é uma medida do complexo maturidade/finura da fibra. Usualmente comercializa-se algodão entre os limites 3,9 e 4,5 de *micronaire*, sendo ideais os compreendidos entre 3,8 a 4,2.

Maturidade de fibra (MAT) refere-se ao desenvolvimento da parede da fibra. Para duas fibras de mesmo diâmetro é a que tiver parede mais espessa na sua seção transversal.

A resistência (STR) à ruptura é expressa em gf tex<sup>-1</sup>. É determinada ao aplicar uma força para afastar as pinças até a ruptura do feixe de fibra. Valores acima de 26 gf tex<sup>-1</sup> são considerados satisfatórios na indústria têxtil.

O comprimento da fibra (UHML) leva em consideração o comprimento médio da metade mais longa do feixe de fibras, em 32 subdivisões de polegada.

A uniformidade de comprimento (UI) é a relação entre o comprimento médio das fibras e o UHML. Adota-se como referência de qualidade valor mínimo de 83% de uniformidade.

A taxa de fibras curtas (SFI) representa a percentagem por peso das fibras de comprimento inferior a 12,7 mm.

O alongamento da fibra (ALG) se refere ao máximo de comprimento obtido pela fibra durante uma carga de esforço até que está se rompa. Valores acima de 7% são considerados ideais.

Os dados foram submetidos a análise de variâncias univariada e multivariada e, a partir desta, estimou-se a dissimilaridade genética entre os pares de genótipos pela Distância generalizada de Mahalanobis ( $D^2_{ii'}$ ) conforme estimador abaixo:

$$D^2_{ii'} = \delta' \Psi^{-1} \delta$$

Em que:

$D_{ii'}^2$ : distância generalizada de Mahalanobis entre os genótipos i e  $i'$ ;

$\Psi$ : matriz de variâncias e covariâncias residuais;

$\delta'': [d_1 \ d_2 \ \dots \ d_v]$  sendo  $d_j = Y_{ij} - \bar{Y}_{ij}$ ;

$\bar{Y}_{ij}$ : média do i-ésimo genótipo em relação à j-ésima variável.

Após a obtenção da matriz de dissimilaridade entre genótipos, realizou-se o agrupamento dos genótipos pelo método hierárquico da Ligação Média entre grupo (UPGMA) e a otimização de Tocher (RAO, 1962).

Baseado no agrupamento hierárquico de Ligação Média entre Grupo (*Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean* – UPGMA), é gerado um dendrograma de maior similaridade em que a distância entre o genótipo e o grupo formado pelos indivíduos i e j é dado por:

$$d_{(ij)k} = \frac{d_{ik} + d_{jk}}{2}$$

Ainda pelos dados da matriz de dissimilaridade, procedeu-se a análise pelo método de agrupamento de otimização de Tocher (RAO, 1962). Por este método as médias das medidas de dissimilaridade dentro de cada grupo deve ser menor que as distâncias médias entre quaisquer grupos ( $\theta$ ). A inclusão ou não de cada genótipo foi determinada por:

$$\frac{d_{(grupo)k}}{n} \leq \theta \text{ Inclui-se o genótipo } k \text{ no grupo;}$$

$$\frac{d_{(grupo)k}}{n} > \theta \text{ o genótipo } k \text{ não é incluído;}$$

Em que:

n = número de genótipos que constituem o grupo original.

A distância entre o genótipo k e o grupo formado pelos genótipos i e j foi dado por:

$$d_{(ij)k} = d_{ik} + d_{jk}$$

A contribuição relativa das características na dissimilaridade dos genótipos pelo método de Singh (1981) conforme a estatística Sij:

$$D_{ii'}^2 = \delta^{-1} \Psi^{-1} \delta = \sum_{j=1}^n \sum_{j'=1}^n \omega_{jj'} d_j d_{j'}$$

Em que:

$\omega_{jj}'$  = elemento da j-ésima coluna da inversa da matriz de variância e covariâncias residuais.

As análises foram realizadas utilizando o Programa estatístico (GENES) (CRUZ, 2016).

#### 4.5. Resultados e discussão

Foram detectadas diferenças significativas pelo teste F para todas as características, que indica a existência de divergência genética entre os genótipos, com exceção de micronaire (MIC) e uniformidade de comprimento (UI), (Tabela 12).

**Tabela 12.** Significância dos quadrados médios e coeficientes percentuais da variação experimental para as 9 características avaliadas, em 12 genótipos de algodoeiro na safra 2016/17.

FV	GL	MIC	MAT	UHML	UI	SFI	STR	ELQ	PROD	RP
Bl	2,00	0,01	0,00	0,41	0,46	2,53	1,48	0,49	214170,64	0,51
Gen	11,00	0,04 <sup>ns</sup>	0,00*	10,38**	4,71 <sup>ns</sup>	11,89**	15,44**	1,32**	10822183,00**	8,98*
Res	22,00	0,03	0,00	1,45	2,98	2,67	2,63	0,39	276414,17	3,32
CV(%)		7,97	0,88	4,79	2,24	10,67	7,14	7,66	23,63	6,47
$h^2$		18,00	63,05	86,01	36,60	77,52	82,92	70,08	74,45	62,96

\*\*, \*Significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente pelo teste f; FV = Fontes de variação; GL = Graus de liberdade; MIC=Micronaire; MAT= Maturação; UHML = Comprimento de fibra; UI = Uniformidade de fibra; SFI = Índice de fibras curtas; STR = Resistência da fibra; ELG = Alongamento; PROD= Produtividade; RP= Rendimento de Fibra; Bl= blocos; Gen=genótipos; Res= Resíduo;  $h^2$ = coeficiente de determinação genotípico.

O coeficiente de variação é considerado aceitável para a maioria das características, entre 0,88 a 10,67%, com exceção para índice de fibras curtas e produtividade, que foram considerados médios, entre 10,67 a 23,63 (SANTOS, 1998). Estes resultados são considerados satisfatórios, e, portanto, confiáveis, uma vez que a produtividade é uma característica quantitativa, muito influenciada pelo meio. Os resultados de características tecnológicas da fibra, corroboram com Gama et al. (2017), que encontraram valores entre 1,04 a 8,39%, ao analisarem o efeito do silício na qualidade da fibra. Para produtividade, Queiroz (2017) encontrou valor de CV para produtividade de 20,51%, concordando com este trabalho, reforçando caráter quantitativo da característica.

Para as médias das características (Tabela 13) não houve formação de grupos para *micronaire*, o que pode se justificar pela baixa variação de MAT, que influencia diretamente os valores de MIC. Isso se daria, uma vez que a MAT é calculada pela deposição de camadas de

celulose na fibra, que afeta diretamente a finura e, consequentemente, o MIC. De forma geral, os valores de MAT estão dentro de valores ideais para cultura, que exige parâmetros acima de 0,76 a 0,84 (BELTRÃO et al., 2004). Carvalho et al. (2015) encontraram valores de MAT entre 0,81 a 0,87, ao avaliar cultivares de algodoeiro de fibra colorida, nas regiões Nordeste e Centro Oeste.

**Tabela 13.** Média de nove características de algodão morfológicas de 12 genótipos de fibra colorida cultivados em Uberlândia-MG.

Gen	MIC	MAT	UHML	UI	SFI	STR	ELG	PROD	RB
G1	2,22 a	0,79 b	25,41 b	79,33 a	13,18 b	23,00 b	8,17 b	2628,56 c	28,31 b
G2	2,34 a	0,80 b	24,42 b	77,36 a	15,57 a	22,19 b	7,43 b	2069,73 c	26,73 b
G5	2,46 a	0,79 b	23,47 b	76,35 a	17,94 a	20,48 b	9,14 a	2496,26 c	28,15 b
G8	2,48 a	0,80 b	23,07 b	76,70 a	17,61 a	20,32 b	8,95 a	2295,79 c	27,54 b
G9	2,63 a	0,80 b	23,82 b	76,22 a	16,25 a	21,64 b	9,15 a	2778,33 c	27,57 b
G10	2,39 a	0,80 b	25,61 b	76,09 a	15,97 a	23,13 b	7,70 b	2231,53 c	27,83 b
G11	2,44 a	0,80 b	24,36 b	77,00 a	15,74 a	20,43 b	8,79 a	2350,44 c	26,58 b
G13	2,34 a	0,80 b	24,92 b	76,14 a	14,71 a	23,79 b	7,66 b	2499,31 c	28,44 b
G16	2,49 a	0,80 b	25,15 b	75,60 a	14,88 a	22,68 b	8,15 b	2969,48 c	28,78 b
G17	2,44 a	0,80 b	24,21 b	75,16 a	17,57 a	21,18 b	8,36 a	3310,48b 4275,93 a	25,54 b 31,29 a
RC	2,66 a	0,81 a	28,21 a	78,86 a	12,57 b	26,99 a	7,51 b	2946,81 c	31,39 a
TC	2,56 a	0,81 a	29,33 a	77,68 a	11,82 b	26,86 a	7,48 b		

Médias seguidas por letras iguais pertencem ao mesmo grupo pelo teste Scott-Knott ao nível 5% de probabilidade. Gen=Genótipos; MIC: micronaire; MAT: maturação; UHML: comprimento de fibra; UI: uniformidade de comprimento; SFI: índice de fibras curtas; STR: resistência; ELG: Alongamento; PROD: produtividade; RB: rendimento de fibra. G1=UFUJP-01; G2=UFUJP-02; G5=UFUJP-05; G8=UFUJP-08; G9=UFUJP-09; G10=UFUJP-10; G11=UFUJP-11; G13=UFUJP-13; G16=UFUJP-16; G17=UFUJP-17; RC=BRS-RUBI; TC=BRS-TOPÁZIO.

Apesar dos valores de MAT estarem dentro dos padrões, estes não contribuíram para os índices de MIC, que ficaram abaixo do exigido pela indústria (3,7 a 4,2), sendo a genética o fator mais determinante para esta característica (BRADOW E DAVIDONIS, 2010). Neste caso foram classificados como finos (< 3,0). Todavia, fibras com baixo valor de MIC e altos valores

de MAT, STR e ALG são interessantes ao processo têxtil, uma vez que, se processados corretamente, agregarão valores positivos à sua produtividade.

Para comprimento de fibra (UHML), os melhoristas procuram valores acima de 28mm. Dos genótipos avaliados, 58% (UFUJP-02, UFUJP-05, UFUJP-08, UFUJP-09, UFUJP-11, UFUJP-13, e UFUJP16) foram classificadas como fibras curtas (entre 23,5 a 25,15 mm) e UFUJP-01, UFUJP10 e UFUJP-16 foram classificadas como fibras médias (25,15 a 27,94 mm). Os genótipos comerciais foram classificados como fibras longas (acima de 27,94mm). A característica UHML tem influência direta nas torções dos fios, aumentando a eficiência na tecelagem, além de aumentar a qualidade do produto (IMAMT, 2014). Em parte, estes valores que foram considerados abaixo do interesse da indústria, podem ser justificados pelas temperaturas noturnas abaixo de 20°C (Figura 7) no período de desenvolvimento da formação do UHML, que se dá por volta dos 100- 130 dias após a emergência. Neste período, as temperaturas mínimas sempre estiveram abaixo de 20°C, ou seja, o ambiente prejudicou a expressão do máximo potencial genético desta característica (BRADOW; DAVIDONIS, 2010; YEATES et al., 2010).

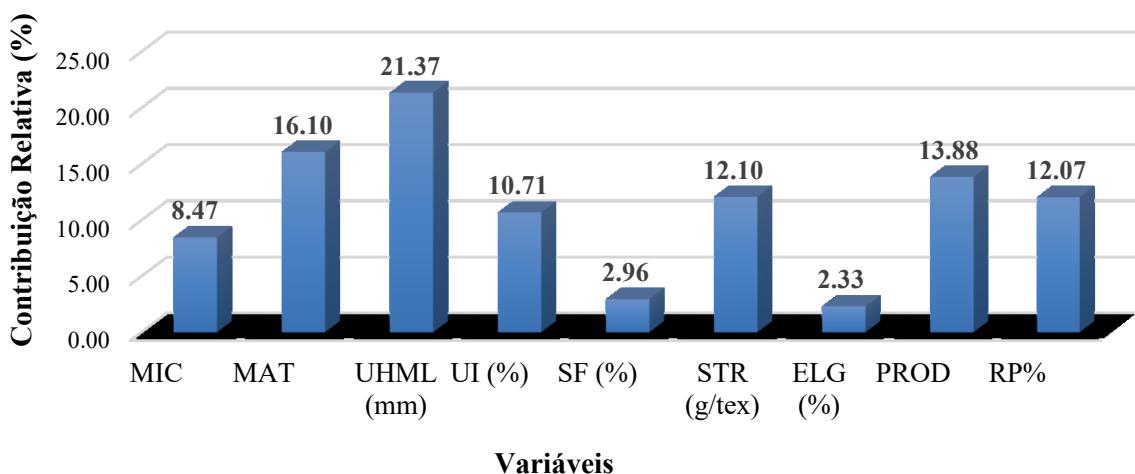
Há forte relação entre as UHML e resistência (STR), ou seja, os maiores valores de comprimento de fibra resultam nos maiores valores de resistência (IMAMT, 2014). Para STR valores ideais são acima de 27 gf tex<sup>-1</sup>, valor não obtido por nenhum dos genótipos, classificados como fracos a intermediários (20 a 25 gf tex<sup>-1</sup>) para os genótipos do PROMALG e médios (26-28 gf tex<sup>-1</sup>) para as testemunhas comerciais (IMAMT, 2014). No caso da resistência, os baixos valores de MIC podem ter influenciado os valores de STR. Neto (2015) encontrou para os mesmos genótipos comerciais valores entre 21,12 a 24,92 gf tex<sup>-1</sup>, na identificação de genótipos, visando produtividade e qualidade de fibras.

Para alongamento (ELG), todos os genótipos foram classificados como muito alto (acima de 7,6%). A maior deposição de cera nas fibras coloridas pode conferir maiores valores de alongamento de fibras. Neto (2014) encontrou para esta característica valores entre 3,24 a 5,60 %, corroborando com Belletini et al. (2011), que encontraram valores entre 7,1 a 9,4, ao avaliarem cultivares de fibra colorida no Paraná.

Os genótipos que apresentaram as maiores produtividades foram BRS-rubi com 4275,93 kg ha<sup>-1</sup>, seguido de UFUJP-17 com 3310,48 kg ha<sup>-1</sup>, que se adaptaram melhor frente às condições ambientais para expressão de seus genes. BRS-Rubi também obteve o maior valor em rendimento de fibra (31,29%), diferentemente de UFUJP-17, que apresentou o menor valor para esta característica. Carvalho et al. (2015) e Neto (2015) encontraram valores de rendimento

entre 33,89 a 40,24% de modo geral, sendo que a cultivar BRS Rubi obteve 33,89% e 33,18, respectivamente, para estes autores.

Ao analisar a divergência genética do algodoeiro para as sete características tecnológicas da fibra, produtividade e rendimento, os elementos que mais contribuíram para o estudo da divergência genética entre os genótipos (Figura 8) foram UHML, que demonstrou maior importância (21,37%), seguido por MAT (16,10%). Gilio (2014) encontrou rendimento de fibra (17,86%) como o fator que mais contribuiu para dissimilaridade, ao analisar o plantio de algodão na safrinha. Já Neto et al. (2015) observaram os maiores valores na contribuição da divergência para índice de fiabilidade, seguido por rendimento de fibra, com 25,55% e 15,66%, respectivamente.

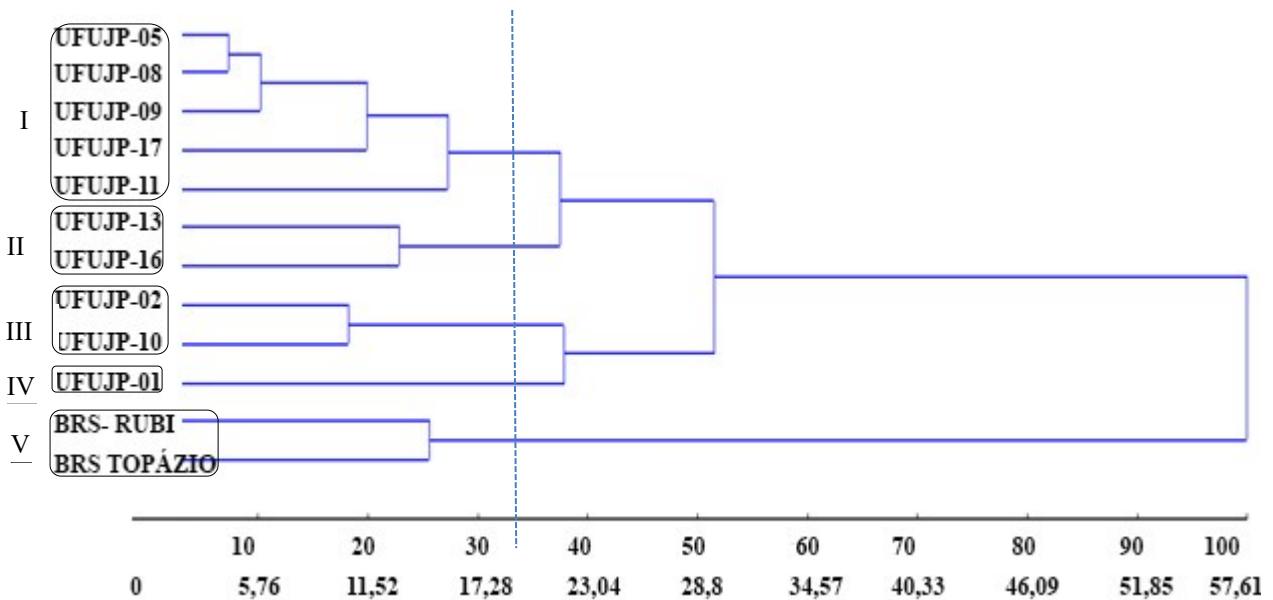


**Figura 8.** Contribuição relativa de Singh (1981) das características: MIC: micronaire; MAT: maturação; UHML (cm): comprimento de fibra; UI (%): uniformidade de comprimento; SFI (%): índice de fibras curtas; STR (gf tex<sup>-1</sup>): resistência; ELG (%): Alongamento; PROD (kg ha<sup>-1</sup>): produtividade; RB (%): rendimento de fibra, para quantificar a divergência entre 12 genótipos de algodão colorido.

A produtividade foi a terceira mais importante no estudo, com contribuição de 13,88%. Isto evidencia que quanto maior a variação de produtividade, maior será a divergência entre os genótipos (SOUZA, 2013).

Na Figura 9, com relação a dissimilaridade, o coeficiente de correlação cofenética foi de 0,84, que comprova a consonância do dendrograma com as dissimilaridades entre os pares de genótipos. Segundo Barroso e Artes (2003), coeficientes acima de 0,70, apresentam boa

representatividade entre o gráfico das distâncias genéticas e a matriz gerada pelo método. Violatti (2016) encontrou valores médios de 0,70, ao analisar a divergência de genótipos de algodoeiro de fibra branca.



**Figura 9.** Dendrograma da divergência genética entre 12 genótipos de algodoeiro de fibra colorida na safra 2016/2017, obtido pelo método hierárquico de ligação média “UPGMA”, com base na distância generalizada de Mahalanobis ( $D^2$ ). Coeficiente de correlação cofenética ( $r$ ): 0,84, em Uberlândia, MG.

No gráfico, a linha de corte foi realizada de maneira subjetiva no ponto de alta mudança de nível no dendrograma (CRUZ; FERREIRA; PESSONI, 2011), realizado a 34% de dissimilaridade, que separou os genótipos em 5 grupos, onde as testemunhas comerciais da Embrapa, ficaram no mesmo grupo. O maior grupo formado (grupo 1) é representado por 41% dos genótipos.

Os resultados de dissimilaridade do dendrograma confirmam a existência de divergência entre os genótipos, demonstrando ser possível obter efeito heterótico e maior heterozigose em possíveis hibridações. Com base no exposto, para maior efeito heterótico, cruzamentos entre UFUJP-05, UFUJP-08, UFUJP09, UFUJP-11 e UFUJP-17 com as testemunhas BRS Rubi e BRS Topázio, possibilitaria obter indivíduos com maior heterose nas hibridações.

Pelo método otimizado de Tocher (RAO, 1962) (Tabela 14), calculado com base na distância de Mahalanobis ( $D^2$ ), formam-se 6 grupos, um a mais que o agrupamento UPGMA, sendo possível verificar a semelhança na formação dos grupos, em relação ao método PGMA.

**Tabela 14.** Agrupamento de 12 genótipos de algodoeiro de fibra colorida, pelo método de Tocher, utilizando a distância de Mahalanobis como medida de distância genética, com base em caracteres agronômicos e características tecnológicas da fibra.

Grupos	Número de genótipos	Genótipos
1	5	G5 G8 G9 G17 G16
2	2	G2 G10
3	2	RC TC
4	1	G1
5	1	G13
6	1	G11

G1=UFUJP-01; G2=UFUJP-02; G5=UFUJP-05; G8=UFUJP-08; G9=UFUJP-09; G10=UFUJP-10; G11=UFUJP-11; G13=UFUJP-13; G16=UFUJP-16; G17=UFUJP-17; RC= BRS-RUBI; TC= BRS-TOPÁZIO.

De forma generalizada, os grupos foram semelhantes entre os métodos, com exceção de UFUJP16, UFUJP-11 e UFUJP-13, onde UFUJP-11 e UFUJP-13 estavam no mesmo grupo em UPGMA e ficaram isolados por Tocher, e UFUJP-16 entrou no primeiro grupo no lugar de UFUJP-11. Isso demonstra que para estas análises, o método Tocher foi mais sensível para determinação da divergência, corroborando com Violatti (2016). Rocha (2015) e Giulio et al. (2017) constataram maior efetividade do método UPGMA, quando comparado a Tocher, ao avaliar a divergência genética de algodão colorido.

Todavia, o uso do método UPGMA aliado ao método de otimização do Tocher, nas avaliações de dissimilaridade, pode garantir maior confiabilidade na estimativa da divergência genética (GILIO et al., 2017).

#### 4.6. Conclusões

Hibridações entre os genótipos UFUJP-17 e BRS-Rubi ou BRS-Topázio são promissores para obtenção de populações segregantes com variabilidade genética e maior potencial produtivo.

Hibridações entre os genótipos UFUJP-16 e BRS Rubi ou BRS Topázio são promissores para obtenção de progênies com características superiores para tecnologia de fibra.

## REFERÊNCIAS

ABRAPA (Ed.). **Consumo mundial.** Disponível em:  
 <<http://www.abrapa.com.br/Paginas/dados/algodao-no-mundo.aspx>>. Acesso em: 01 jan. 2018.

BARROSO, L. P.; ARTES, R. **Análise multivariada.** Lavras: Ufla, 2003.

BELLETTINI, S.; SANTOS, K. H.; BELLETTINI; N. M. T., MIGLIORANZA, E.; CHIMBO JUNIOR A.; DA SILVA, D. P.; NAGASHIMA, G. Comportamento a campo de cultivares de algodão colorido no norte do Paraná. In Embrapa Algodão-Artigo em anais de congresso (ALICE). CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 8.; COTTON EXPO, 1., 2011, São Paulo. Evolução da cadeia para construção de um setor forte: **Anais...** Campina Grande, PB: Embrapa Algodão, 2011.

BELTRÃO, N.E. M.; CARVALHO, L. P. **Algodão colorido no Brasil, e em particular no Nordeste e no Estado da Paraíba.** Campina Grande, PB, Embrapa Algodão-Dокументos (INFOTECA-E), 2004.

BORÉM, A.; FREIRE, E. C. **Algodão:** do plantio a colheita. Minas Gerais: UFV, 2014.

BRADOW, J. M.; DAVIDONIS, G. H. Effects of environment on fiber quality. **Physiology of cotton**, New Orleans, LA, p. 229-245, 2010. [https://doi.org/10.1007/978-90-481-3195-2\\_21](https://doi.org/10.1007/978-90-481-3195-2_21)

CARVALHO L. P.; SALGADO C. C.; FARIAS F. J. C.; CARNEIRO V. Q. Estabilidade e adaptabilidade de genótipos de algodão de fibra colorida quanto aos caracteres de fibra. **Ciência Rural**, Santa Maria, RS, Brasil, v.45, p.598-605, 2015. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr2013023>

CRUZ, C. D. **Genes software:** extended and integrated with the R, Matlab and Selegen. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, Brasil, v.38, n. 4, p. 547-552, 2016.

CRUZ, C. D. **Programa genes:** diversidade genética. Viçosa: UFV, 2016. 278 p.

CRUZ, C. D.; FERREIRA, F. M.; PESSONI, L. A. Diversidade genética-Importância. In: \_\_\_\_\_. **Biometria aplicada ao estudo da diversidade genética.** Viçosa: Suprema, 2011. p. 2-28.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético.** 3. ed. Viçosa: Editora UFV, 2014.

SANTOS, J. W.; MOREIRA, J. D. A. N.; FARIAS, F. J. C.; FREIRE, E. C. Avaliação dos coeficientes de variação de algumas características da cultura do algodão: uma proposta de classificação. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, Paraíba, Brasil, v.2, n.1, 1998.

DUTT, Y.; WANG, X. D.; ZHU, Y. G.; Li, Y. Y. Breeding for high yield and quality in colored cotton. **Plant Breeding**, Germany, v. 123, p. 145-151, 2004.

<https://doi.org/10.1046/j.1439-0523.2003.00938.x>

FERRAUDO A. S. **Técnicas de análise multivariada: uma introdução.** Jaboticabal: UNESP, 2010. 77 p.

GAMA, J. S. N.; JÚNIOR, L. R. P.; PEREIRA, F. J. S.; DE OLIVEIRA, E. L.; CAMPOS, D. A.; BARROS, A. C. S. A. Efeito da adubação silicatada na qualidade da fibra do algodoeiro. **Magistra**, Cruz das Almas - Bahia, Brasil, v. 28, n. 2, p. 743-752, 2017.

GILIO, T. A. S. **Divergência genética em genótipos de algodoeiro e quantificação de danos causados pela mancha de ramulária.** 69 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade do Estado de Mato Grosso, Tangará da Serra, 2014.

GILIO, T. A. S.; DE ARAÚJO, D. V.; KRAUSE, W.; ROSA, H. H. R.; ASCARI, J. P. Divergência genética em genótipos de algodão em condições de safra e safrinha. **Revista Caatinga**, Mossoró, RN, Brasil, v. 30, n. 2, p. 377-390, 2017. <https://doi.org/10.1590/1983-21252017v30n213rc>

Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**, v. 5, n. 3, safra 2017/18, terceiro levantamento, dezembro 2017. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17\\_12\\_12\\_17\\_59\\_52\\_dezembro.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_12_12_17_59_52_dezembro.pdf)>. Acessado em: 01 jan. 2018.

IMAMT. **A classificação do algodão.** Cap. 15. Disponível em: <[http://www.imamt.com.br/system/anexos/arquivos/238/original/3\\_-\\_MANUAL\\_15\\_19.pdf?1404999627](http://www.imamt.com.br/system/anexos/arquivos/238/original/3_-_MANUAL_15_19.pdf?1404999627) 2014>. Acesso: 01 jan. 2018.

MATIELLO, R. R.; SILVA, D. F. G.; COELHO, C. J.; ROMANEK, C.; GARDINGO, J. R.; SILVA, A. R.; GRACZYKI, B. L.; OLIVEIRA, E. A. T. Dissimilaridade genética e definição de grupos de recombinação em progêneres de meios-irmãos de milho-verde. **Bragantia**, Campinas, v. 75, n. 4, p.401-410, 2016.

MULATO, B. M.; MÖLLER, M.; ZUCCHI, M. I.; QUECINI, V.; PINHEIRO, J. B. Genetic diversity in soybean germplasm identified by SSR and EST-SSR markers. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, Brasil, v. 45, n. 3, p. 276-283, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2010000300007>

NETO, J. C.; MAGALHÃES BERTINI, C. H. C.; SILVA, A. P. M. Divergência genética entre genitores de algodoeiro de fibras brancas e colorida. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Pernambuco, Brasil, v. 10, n. 4, p. 492-498, 2015 <https://doi.org/10.5039/agraria>

PENNA, J. C.V. Melhoramento do algodão. In: BORÉM, A. (Ed.). **Melhoramento de espécies cultivadas**. 2. Ed. Viçosa: UFV, 2005. Cap.1, p. 15-53.

QUEIROZ, D. R. Análise genética para caracteres agronômicos e tecnológicos de fibra em genótipos de algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L. var. *Latifolium* Hutch.). (Dissertação de mestrado em agronomia). Universidade Estadual da Paraíba, Paraíba, Brasil, 2017.

RAO, R. C. **Advanced statistical methods in biometrics research.** New York: John Wiley and Sons, 1962. 390 p.

RESENDE, M. A. V.; DE FREITAS, J. A.; LANZA, M. A; RESENDE, M. V. D.; AZEVEDO, C. F. Divergência genética e índice de seleção via BLUP em acessos de algodoeiro para características tecnológicas da fibra. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Brasília, DF, Brasil, v. 44, n. 3, 2014.

ROCHA, G. M. G. **Diversidade genética e expressão gênica em fibras de algodão colorido**. Dissertação (mestrado em agronomia) Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, PB, Brasil, 2015.

ROTILI, E. A.; CANCELLIER, L. L.; DOTTO, M. A.; PELUZIO, J. M.; CARVALHO, E. V. Divergência genética em genótipos de milho no Estado do Tocantins. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 43, n. 3, p. 516-521, 2012. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902012000300014>

SIMON, G. A.; KAMADA, T.; MONTEIRO, M. Divergência genética em milho de primeira e segunda safra. **Revista Semina**, Londrina, v. 33, n. 2, p.449-458, 2012.  
<https://doi.org/10.5433/1679-0359.2012v33n2p449>

SOUZA L. B. **Diversidade fenotípica e molecular, correlações entre caracteres, adaptabilidade e estabilidade de genótipos de soja**. Tese de doutorado em agronomia. Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2013.

VIOLATTI, M. R. **Qualidade da fibra e diversidade genética em algodoeiro de fibra branca**. 44 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2016.

YEATES, S. J.; CONSTABLE, G. A.; MCCUMSTIE, T. Irrigated cotton in the tropical dry season. In: YIELD, ITS COMPONENTS AND CROP DEVELOPMENT. **Field Crops Research**, USA, v. 116, n. 3, p. 278-289, 2010

ZONTA, J. H.; SOFIATTI, V.; BEZERRA, J.; BRANDÃO, Z. N. Produtividade de cultivares de algodoeiro herbáceo sob diferentes lâminas de irrigação no Semiárido brasileiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO ALGODÃO, 10., 2015, Foz do Iguaçu. **Resumo em Anais de Congresso...** Brasília, DF: ABRAPA, 2015.

## CAPÍTULO 4

**CORRELAÇÃO ENTRE CARACTERES COMO CRITÉRIO DE SELEÇÃO  
INDIRETA EM GENÓTIPOS DE ALGODEIRO DE FIBRA COLORIDA**

## 5. CORRELAÇÃO ENTRE CARACTERES COMO CRITÉRIO DE SELEÇÃO INDIRETA EM GENÓTIPOS DE ALGODEIRO DE FIBRA COLORIDA

### 5.1. Resumo

O algodoeiro, do gênero *Gossypium spp.*, produz fibras que são muito utilizadas na indústria têxtil. Seu cultivo se dá predominantemente por cultivares de fibras brancas, contudo, naturalmente produz fibras de diversas cores e tonalidades. O algodoeiro de fibra colorida surge como uma alternativa na produção de fibras têxteis, pois dispensa ou diminui o tingimento na indústria, e, portanto, reduzem o impacto ambiental ocasionado pelo descarte destes que são poluentes. Contudo, as fibras coloridas, geralmente possuem produtividade inferiores as cultivares brancas, sendo o melhoramento de plantas uma alternativa para desenvolvimento de cultivares mais produtivas. Em auxílio ao melhoramento genético, as correlações entre os caracteres podem melhorar a eficácia e a agilidade na seleção, pois possibilita a seleção indireta de características de difícil seleção. Com base no exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar as correlações fenotípicas e genotípicas, seus efeitos diretos e indiretos sobre produtividade de algodão em caroço, rendimento e caracteres tecnológicos da fibra de algodoeiro colorido como critério de seleção indireta. O experimento foi conduzido na safra 2016/2017, na fazenda experimental Capim Branco ( $18^{\circ}52'S; 48^{\circ}20'W$  e 805m), pertencente à Universidade Federal de Uberlândia, no município de Uberlândia, Minas Gerais. Foram utilizados 12 genótipos de fibra colorida (UFUJP-01, UFUJP-02, UFUJP-05, UFUJP-08, UFUJP-09, UFUJP-10, UFUJP-11, UFUJP-13, UFUJP-16, UFUJP-17 e as cultivares comerciais da Embrapa BRS-Rubi e BRS-Topázio) em delineamento de blocos casualizados. Estimou-se os coeficientes de correlação fenotípica e genotípica entre as características *Micronaire* (MIC), Maturação (MAT), Comprimento de Fibra (UHML), Uniformidade de Comprimento (UI), Índice de Fibras Curtas (SFI), Resistência de fibra (STR), Alongamento (ELG), Produtividade (PROD) e Rendimento (RP), com seus efeitos diretos e indiretos com análise de trilha e avaliação da multicolinearidade dos efeitos, estabelecendo uma constante K. As características MIC, MAT, STR e ELG tiveram correlação significativa com produtividade, sendo que alongamento obteve correlação negativa, ou seja, uma associação inversa com produtividade. Na análise de trilha MIC, MAT e STR tiveram efeito direto superior a magnitude do efeito residual, sendo que MAT obteve efeito direto em sentido desfavorável, demonstrando ausência de causa e efeito sobre produtividade. A característica MIC, apesar do alto efeito direto, possui baixo coeficiente de determinação genotípico, inviabilizando sua utilização na seleção indireta. Verificou-se que Comprimento de fibra e resistência podem ser utilizados na seleção indireta, desde que seja feito, entre ambas, uma seleção truncada.

**Palavras-chave:** Análise de trilha; Fibras de cor; *Gossypium*.

## 5.2. Abstract

Cotton, of the genus *Gossypium* ssp. produces fibers that are very important in the textile industry. Its cultivation is predominantly by cultivars of white fibers, making clear several fibers of diverse colors and shades. Cotton fiber packaging appears as an alternative in the production of textile fibers, as the dispersion or reduction of dyeing in the industry, and thus the environmental impact is caused by the disposal of these, which are pollutants. Today, cotton is the lightest orient of plants for more productive cultivars. In Relief Arrangement as Correlations between the Different Possibilities Improved and Speeded in the Selection, because It Enables an Indirect Selection. Based on the foregoing, the objective of this work was to evaluate the direct and indirect effects on the productivity, yield and technological resources of the cotton fiber as a selective selection criterion as phenotypic and genotypic correlations. The experiment was conducted in the 2016/2017 harvest at the Capim Branco experimental farm (18°52'S, 48°20'W and 805 m altitude), belonging to the Federal University of Uberlândia, in the city of Uberlândia, Minas Gerais. Twelve colored fiber genotypes (UFUJP-01, UFUJP-02, UFUJP-05, UFUJP-08, UFUJP-09, UFUJP-10, UFUJP-11, UFUJP-13, UFUJP-commercial applications of Embrapa BRS-Rubi and BRS-Topázio) in a randomized complete block design. Stimulation of the phenotypic and genotypic correlation coefficients between the MIC, Maturation (MAT), Fiber Length (UHML), Uniformity of Length (IU), Short Fiber Index (SFI), Fiber Resistance (STR) (PR) and yield (PR), with its objectives and indirectly with the analysis of multicollinearity screening and evaluation, establishing a constant K. As the characteristics MIC, MAT, STR and ELG had the productivity, and the elongation was turned off negative, that is, an inverse association with productivity. In the analysis of the MIC, MAT and STR tracks, the deleterious effects exceed the magnitude of the residual effect, and the MAT has direct effect in the unfavorable sense, demonstrating absence of cause and effect on productivity. The MIC functionality, despite the high direct effect, has a low genotype determination coefficient, making it unfeasible for indirect selection. It has also been found that the compromise of fiber and resistance can be used in the selection of policies, provided a truncated selection is made between the two.

**Keywords:** Path analysis; color fiber; *Gossypium*.

### 5.3. Introdução

O algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.) do gênero *Gossypium* é uma das mais de 50 espécies pertencentes à família Malvaceae (BONIFÁCIO et al., 2015), respondendo por 90% da produção mundial de algodão. A fibra do algodão é o principal produto da cultura, responsável pela vestidura de boa parte da população mundial (SHAHZAD et al., 2015).

No mundo, o algodão é cultivado em mais de 80 países, sendo estimado um aumento na produção de aproximadamente 12%, que representa 25,74 milhões de toneladas produzidas (REDDY, 2015; CONAB, 2017). O Brasil vem se destacando como um importante colaborador para estes resultados, pois é o quinto maior produtor, com estimativa de produção em torno de 4,2 milhões de toneladas para safra 2017/2018 (CONAB, 2017).

Durante décadas a grande totalidade de produção de algodão baseou-se no cultivo de genótipos de fibra branca, apesar de naturalmente o algodoeiro produzir fibra de outras cores. A expressão da cor se dá pela presença de um gene dominante, enquanto a cor branca da fibra, é oriunda de alelos recessivo (BELTRÃO; CARVALHO, 2004; CARVALHO, 2015).

Fibras coloridas estão ganhando destaque nos últimos anos. Contudo, em anos anteriores, tais fibras eram descartadas pela indústria e por produtores, devido a possibilidade de ocorrer cruzamentos naturais e contaminar o algodoeiro de fibra branca (BARROSO, 2005).

Este destaque se deve ao apelo ambiental proveniente deste cultivo, pois acarreta em menor uso de corantes na indústria durante o tingimento. Estes corantes, muitas vezes, possuem substâncias que poluem o ambiente. Outro fator relevante é a diminuição do volume de água usado no processamento, o que minimiza os impactos ambientais e, consequentemente, reduz os custos de produção e maior valor agregado da fibra (BULUT; AKAR, 2012).

O algodão colorido tem maior valor de mercado em comparação aos de fibra branca, devido às características de manejo, já que, muitas vezes, é cultivado por agricultores familiares, de forma orgânica e sustentável (CARVALHO et al., 2011).

No entanto, apesar de mais rentável, este possui desafios a serem superados, como características agronômicas desejáveis, assim como suprir a demanda da indústria têxtil com fibras de alta qualidade. Para atender a essas demandas, o melhoramento genético de plantas é uma forma rápida e econômica de se obter cultivares superiores, possibilitando resultados que podem ser transmitidos entre as gerações (ENTRINGER et al., 2014).

Em auxílio ao melhoramento, o estudo das correlações entre os caracteres possibilita maior eficácia e agilidade, dando suporte ao melhorista na seleção de características quantitativas, que são muito influenciadas pelo meio e de difícil seleção. Isto se dá por meio da seleção indireta de características de fácil mensuração, envolvendo a associação de natureza herdável (AZEVEDO et al., 2016).

Os coeficientes de correlação quantificam a magnitude e a direção da influência dos fatores na determinação de características complexas. Contudo, tais coeficientes não traduzem a importância relativa dos efeitos diretos e indiretos destes fatores (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2014), sendo necessário o desdobramento do coeficiente de correlação (TOEBE; CARGNELUTTI FILHO, 2013; REHMAN et al., 2015)

O desdobramento dos efeitos diretos e indiretos é obtido pela análise de trilha (Wright, 1921), através de estimativas obtidas pela equação de regressão, previamente padronizadas (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2014) e submetendo os dados ao diagnóstico de multicolinearidade, prevenindo possíveis erros nos resultados (SALLA et al., 2015).

Com base no exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar as correlações fenotípicas e genotípicas, seus efeitos diretos e indiretos sobre produtividade, rendimento e caracteres tecnológicos da fibra de algodoeiro colorido como critério de seleção indireta.

#### **5.4. Material e Métodos**

O experimento foi conduzido na Universidade Federal de Uberlândia, na safra 2016/2017. Os dados foram obtidos em experimentos conduzidos na fazenda experimental Capim Branco ( $18^{\circ}52'S$ ;  $48^{\circ}20'W$  e 805m de altitude), pertencente à Universidade Federal de Uberlândia, no município de Uberlândia, Minas Gerais.

A área situa-se sobre um Latossolo Vermelho Escuro, com textura argilosa. O preparo do solo foi realizado de forma convencional, com uma aração e duas gradagens. Antes da semeadura, a área foi sulcada e adubada, conforme necessidade pela análise de solo.

Foram avaliados 12 genótipos de algodoeiro de fibra colorida UFUJP-01, UFUJP-02, UFUJP-05, UFUJP-08, UFUJP-09, UFUJP-10, UFUJP-11, UFUJP-13, UFUJP-16, UFUJP-17 e as cultivares comerciais da Embrapa BRS Rubi e BRS Topázio.

O delineamento utilizado foi de blocos casualizados (DBC) com quatro repetições. A parcela constituiu-se de quatro linhas de 5 m de comprimento espaçadas de um metro entre si, sendo a área útil da parcela as duas linhas centrais, desprezando-se 0,5 m de cada extremidade.

A semeadura foi realizada de forma manual em 16 de dezembro de 2016, com 16 sementes por metro linear a 2 cm de profundidade. As sementes foram tratadas com o fungicida Carboxina-Tiram – nome comercial Vitavax®-Thiram 200 SC e inseticida Tiametoxam – nome comercial Cruiser® 350 FS. O desbaste foi realizado com 30 dias após a emergência, deixando-se oito plantas por metro linear.

O controle de plantas daninhas foi realizado ao longo do ciclo da cultura, utilizando herbicidas em pré e pós-emergência, complementados com capinas manuais. O controle de pragas foi realizado com aplicações de inseticidas e acaricidas de acordo com as recomendações para a cultura. Durante o ciclo da cultura, foram feitas aplicações com regulador de crescimento cloreto de mepiquat (1,1-dimethylpiperidinium chloride) – nome comercial Pix, de acordo com as recomendações.

Colheu-se a área útil de cada parcela e foram pesados para calcular a produtividade de algodão em caroço. As amostras foram acondicionadas em sacos de papéis devidamente identificados. O material foi posteriormente beneficiado no laboratório da Fazenda Capim Branco, com a finalidade de separar as fibras das sementes.

Após o beneficiamento, as fibras foram levadas ao laboratório Minas Cotton - Central de Classificação de Fibra em Uberlândia-MG, onde realizou-se a análise das características tecnológicas das fibras de cada parcela, utilizando o aparelho HVI (*High Volume Instruments*).

As características avaliadas foram: índice *Micronaire*, maturidade da fibra, resistência da fibra, comprimento da fibra, uniformidade do comprimento, alongamento e índice de fibras curtas.

O índice *Micronaire* (MIC) é uma medida do complexo maturidade/finura da fibra. Usualmente, comercializa-se algodão entre os limites 3,9 e 4,5 de *micronaire*, sendo ideais os compreendidos entre 3,8 a 4,2.

Maturidade de fibra (MAT) refere-se ao desenvolvimento da parede da fibra. Para duas fibras de mesmo diâmetro é a que tiver parede mais espessa na sua seção transversal.

A resistência (STR) à ruptura é expressa em gf tex<sup>-1</sup> no Brasil. É determinada ao aplicar uma força para afastar as pinças até a ruptura do feixe de fibra. Valores acima de 26 gf tex<sup>-1</sup> são considerados satisfatórios na indústria têxtil.

O comprimento da fibra (UHML) leva em consideração o comprimento médio da metade mais longa do feixe de fibras em 32 subdivisões de polegada.

A uniformidade de comprimento (UI) é a relação entre o comprimento médio das fibras e o UHML. Adota-se como referência de qualidade valor mínimo de 83% de uniformidade.

O índice de fibras curtas (SFI) representa a percentagem por peso das fibras de comprimento inferior a 12,7 mm.

O alongamento da fibra (ELG) se refere ao máximo de comprimento obtido pela fibra durante uma carga de esforço, até que esta se rompa. Valores acima de 7% são considerados ideias.

Realizou-se a análise de variância (Teste F) e teste de Scott Knott (5% de significância). As estimativas de correlações fenotípicas ( $r_f$ ) entre os caracteres foi realizada a 1 e 5% de probabilidade pelo teste t com  $n-2$  graus de liberdade, em que n corresponde ao número de genótipos avaliados.

Foram estimadas as correlações fenotípicas e genotípicas para as características pelas seguintes expressões:

$$r_f = \frac{PMT_{xy}}{\sqrt{QMR_x QMR_y}}$$

Em que:

$R_f$ = Correlação fenotípica

PMT= Produtos médios associados aos tratamentos

QMR= Quadrado médio do resíduo

O coeficiente de correlação genotípica foi estimado pela expressão:

$$rg = \frac{\sigma_{gxy}}{\sqrt{\widehat{\sigma}_{gx}^2 \widehat{\sigma}_{gy}^2}}$$

Em que:

$\widehat{\sigma}_{gxy}$  = estimador da covariância genotípica entre os caracteres X e Y; e

$\widehat{\sigma}_{gx}^2$  e  $\widehat{\sigma}_{gy}^2$  são estimadores das variâncias genotípicas dos caracteres X e Y, respectivamente.

Também foi realizado a diagnose e grau da multicolinearidade da matriz singular  $X'X$  (MONTGOMERY; PECK, 1981), com base no número de condição (NC), que é a relação entre o maior e o menor autovalor da matriz. Se  $NC < 100$ , a multicolinearidade é denominada fraca e não constitui problema para a análise; se  $100 \leq NC < 1000$ , a multicolinearidade é considerada de moderada à forte; e se  $NC \geq 1000$ , é considerada severa (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2014).

Todas as análises estatísticas e o diagnóstico da multicolinearidade foram realizadas pelo *Software Genes* (CRUZ, 2016).

### 5.5. Resultados e Discussão

Conforme Tabela 15, foram detectadas diferenças significativas pelo teste F, com exceção de *micronaire* (MIC) e uniformidade de comprimento (UI), evidenciando a existência de divergência genética entre os genótipos para as demais características. Resultados semelhantes foram observados por Jerônimo et al., 2014, Carvalho et al., 2015 e Farias et al., 2016, avaliando correlações e análise de trilha em algodoeiro.

**Tabela 15.** Significância dos quadrados médios e coeficientes percentuais da variação experimental para as 9 características avaliadas, em 12 genótipos de algodoeiro na safra 2016/17.

FV	GL	MIC	MAT	UHML	UI	SFI	STR	ELQ	PROD	RP
BL	2	0,01	0,00	0,41	0,46	2,53	1,48	0,49	214170,64	0,51
GEN	11	0,04 <sup>ns</sup>	0,00*	10,38**	4,71ns	11,89**	15,44**	1,32**	10822183,00**	8,98*
RES	22	0,03	0,00	1,45	2,98	2,67	2,63	0,39	276414,17	3,32
CV(%)		7,97	0,88	4,79	2,24	10,67	7,14	7,66	23,63	6,47
$h^2$		18,00	63,05	86,01	36,60	77,52	82,92	70,08	74,45	62,96

\*\*, \*Significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente pelo teste f; FV = Fontes de variação; GL = Graus de liberdade; MIC=Micronaire; MAT= Maturação; UHML = Comprimento de fibra; UI = Uniformidade de fibra; SFI = Índice de fibras curtas; STR = Resistência da fibra; ELG = Alongamento; PROD= Produtividade; RP=Rendimento de Fibra,  $h^2$ = coeficiente de determinação genotípico.

O coeficiente de determinação fenotípico ( $h^2$ ) que fornece a proporção da variabilidade genética presente na variância fenotípica total, medindo a confiabilidade do valor fenotípico como indicador de valor genotípico (RAMALHO et al., 2012), variaram de 18,00 para MIC a 86,01 para UHML, sendo que MIC foi muito influenciado pelo ambiente. Para a maioria das características, os valores de  $h^2$  foram altos, ou seja, a variação genética foi superior a variação ambiental (UHML, SFI STR, ELG e PROD), e altas correlações entre dois destes caracteres resultará em uma seleção promissora (ROMANATO, 2013).

Na Tabela 16, verifica-se as estimativas das correlações fenotípicas (rf) e genotípicas (rg). É possível observar que as correlações genéticas foram superiores as fenotípicas para todas as características. Contudo, se utiliza da correlação fenotípica para a análise de trilha, uma vez que esta permite sua manipulação pelo melhorista.

As características que apresentaram correlações significativas com a produtividade foram: Micronaire (0,59); maturação (0,52); resistência (0,59); e alongamento (-0,22). Estes resultados indicam que a produtividade está diretamente relacionada com MIC, MAT, STR e ELG. No ELG a correlação negativa revela que existe uma associação inversa entre produtividade e alongamento.

**Tabela 16.** Correlações fenotípicas e genotípicas entre caracteres avaliados em 12 genótipos de algodoeiro colorido em Uberlândia-MG.

<b>Caracteres</b>	<b>Correlação</b>	<b>MAT</b>	<b>UHML</b>	<b>UI</b>	<b>SFI</b>	<b>STR</b>	<b>ELG</b>	<b>PROD</b>	<b>RP</b>
MIC	rf	0,56 <sup>ns</sup>	0,32 <sup>ns</sup>	-0,09 <sup>ns</sup>	-0,09 <sup>ns</sup>	0,30 <sup>ns</sup>	0,16 <sup>ns</sup>	0,59*	0,44 <sup>ns</sup>
	fg	0,51 <sup>ns</sup>	0,56 <sup>ns</sup>	-1,95 <sup>++</sup>	0,34 <sup>ns</sup>	0,21 <sup>ns</sup>	0,61 <sup>ns</sup>	1,21 <sup>ns</sup>	0,14 <sup>ns</sup>
MAT	rf		0,85**	0,26 <sup>ns</sup>	-0,68*	0,86**	-0,7*	0,52**	0,74**
	fg		1,02 <sup>++</sup>	0,28 <sup>ns</sup>	-0,9 <sup>++</sup>	1,05 <sup>++</sup>	-0,73 <sup>++</sup>	0,63 <sup>ns</sup>	0,79 <sup>++</sup>
UHML	rf			0,51 <sup>ns</sup>	-0,88**	0,95**	-0,71**	0,56 <sup>ns</sup>	0,83*
	fg			1,03 <sup>++</sup>	-1,01 <sup>++</sup>	1,00 <sup>++</sup>	-0,75 <sup>++</sup>	0,66 <sup>+</sup>	0,97 <sup>++</sup>
UI	rf				-0,69**	0,50 <sup>ns</sup>	-0,32 <sup>ns</sup>	0,24 <sup>ns</sup>	0,52 <sup>ns</sup>
	fg				-0,88 <sup>+</sup>	0,81 <sup>+</sup>	-0,83 <sup>+</sup>	0,33 <sup>ns</sup>	0,59 <sup>ns</sup>
SFI	rf					-0,88**	0,68*	-0,43 <sup>ns</sup>	-0,78**
	fg					-0,95 <sup>++</sup>	0,97 <sup>++</sup>	-0,5 <sup>ns</sup>	-0,91 <sup>++</sup>
STR	rf						-0,77 <sup>ns</sup>	0,59*	0,86**
	fg						-0,95 <sup>ns</sup>	0,72 <sup>+</sup>	1,00 <sup>ns</sup>
ELG	rf							-0,22*	-0,45**
	fg							-0,21 <sup>ns</sup>	-0,48 <sup>ns</sup>
PROD	rf								0,52 <sup>ns</sup>
	fg								0,75*

\*\*\* : Significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste t.; ++, + Significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste de bootstrap com 10000 simulações. Estimativas dos coeficientes de correlações fenotípica (rf) e genotípica (rg), entre os caracteres: Maturidade (MAT), Produtividade de algodão em caroço (PROD), Micronaire (MIC), Resistência (STR), comprimento (UHML), uniformidade de comprimento (UI), alongamento (Alg) e Rendimento de fibra (RP).

Valores negativos indicam que o ambiente favorece uma característica em detrimento da outra (CRUZ, REGAZZI e CARNEIRO, 2014). Com base nisso, haverá dificuldades na seleção para produtividade ao selecionar MAT, MIC, STR e ALG ao mesmo tempo, uma vez que ALG possui correlação negativa.

Quanto as demais características, as maiores correlações fenotípicas encontradas foram: MAT x UHML (0,85); UHML x SFI (-0,88); UHML x STR (0,95) e UHML x RP (0,83), sendo que todas foram significativas. Fica exposto que a seleção visando comprimento de fibra contribuirá para ganhos em produtividade. Sahito et al. (2016) encontraram valores de associação negativo entre UHML e MIC, o que não foi constado neste trabalho. Segundo IMAMT (2014), o comprimento de fibra tem alta correlação com STR, corroborando com os resultados encontrados.

As correlações permitem inferir as associações entre as características, mas não possibilita verificar suas causas e seus efeitos. Para tal, realizou-se a análise de trilha para conhecer as influências das características tecnológicas da fibra sobre a produtividade, utilizando-se as correlações fenotípicas, em razão de que a seleção geralmente é realizada com base no fenótipo, sendo que esta pode ser manipulada pelo melhorista. (KANG et al., 1983).

Moreira et al. (2013) mencionam que para contornar os efeitos adversos da multicolinearidade, é necessário a exclusão das características que mais contribuem para este efeito. Foi realizado o diagnóstico de multicolinearidade pelo número de condição (NC) das matrizes de correlações fenotípicas. Ao analisar todos as características, relatou-se efeitos severos na matriz de correlação fenotípica. Desse modo, eliminou-se de MAT, ELG e STR que contribuíam para os efeitos adversos da multicolinearidade, e aplicou- se um corte de crista em um valor de k a 5,06.

Conforme Tabela 17, pela análise de trilha, observa-se que os caracteres tecnológicos da fibra influenciaram diretamente a produtividade. Todos os caracteres demonstraram alta correlação com a variável principal, com exceção de SFI, ELG e UI (-0,43, 0,24 e -0,22), sendo que SFI e ELG demonstraram efeito negativo na correlação. As três características também evidenciaram baixo efeito direto, ou seja, podem ser descartados na seleção indireta para produtividade, podendo não apresentar ganhos satisfatórios na seleção, o que corrobora com Faria et al. (2015), que encontraram efeito negativo de SFI e ALG para produtividade de fibra, avaliando a correlação e análise de trilha de 16 genótipos de algodão no Mato Grosso.

**Tabela 17.** Estimativas dos efeitos direto e indireto, que envolveram o caractere principal dependente produtividade de algodão em caroço e as independentes: MIC, UHML, UI, STR, ELG, MIC e RP em 12 genótipos de algodoeiro safra 2016/2017.

<b>Caráter</b>	<b>Efeito de associação</b>	
	<b>Micronaire</b>	<b>Estimativa</b>
	<b>Efeito de associação</b>	
	Efeito Direto Sobre Produtividade	0,799
	Efeito Indireto – MAT	-0,371
	Efeito Indireto – UHML	0,680
	Efeito Indireto – UI	-0,009
	Efeito Indireto – SFI	-0,000
	Efeito Indireto – STR	0,209
	Efeito Indireto – ELG	-0,032
	Efeito Indireto – RP	-0,108
	Total	0,595
<b>Caráter</b>	<b>Comprimento de fibra</b>	
	Efeito Direto s/ Produtividade	0,209
	Efeito Indireto MIC	0,259
	Efeito Indireto MAT	-0,557
	Efeito Indireto UI	0,053
	Efeito Indireto SFI	-0,009
	Efeito Indireto STR	0,652
	Efeito Indireto ELG	0,144
	Efeito Indireto RP	-0,200
	Total	0,561
<b>Caráter</b>	<b>Rendimento de Fibra</b>	
	Efeito Direto S/ Produtividade	-0,239
	Efeito Indireto MIC	0,359
	Efeito Indireto MAT	-0,489
	Efeito Indireto UHML	0,175
	Efeito Indireto UI	0,054
	Efeito Indireto SFI	-0,008
	Efeito Indireto STR	0,594
	Efeito Indireto ELG	0,092

	<b>Total</b>	0,527
<b>Caráter</b>	<b>Uniformidade de Comprimento</b>	
	Efeito Direto S/ Produtividade	0,103
	Efeito Indireto MIC	-0,072
	Efeito Indireto MAT	-0,175
	Efeito Indireto UHML	0,107
	Efeito Indireto SFI	-0,007
	Efeito Indireto STR	0,346
	Efeito Indireto ELG	0,065
	Efeito Indireto RP	-0,125
	<b>Total</b>	0,247
<b>Caráter</b>	<b>Índice de Fibras Curtas</b>	
	Efeito Direto S/ Produtividade	0,010
	Efeito Indireto MIC	-0,074
	Efeito Indireto MAT	0,449
	Efeito Indireto UHML	-0,186
	Efeito Indireto UI	-0,071
	Efeito Indireto STR	-0,608
	Efeito Indireto ELG	-0,138
	Efeito Indireto RP	0,188
	<b>Total</b>	-0,430
<b>Caráter</b>	<b>Maturação</b>	
	Efeito Direto S/ Produtividade	-0,652
	Efeito Indireto MIC	0,455
	Efeito Indireto UHML	0,179
	Efeito Indireto UI	0,027
	Efeito Indireto SFI	-,007
	Efeito Indireto STR	0,594
	Efeito Indireto ELG	0,141
	Efeito Indireto RP	-0,179
	<b>Total</b>	0,526
<b>Caráter</b>	<b>Resistência</b>	
	Efeito Direto S/ Produtividade	0,685

	Efeito Indireto MIC	0,244
	Efeito Indireto MAT	-0,565
	Efeito Indireto UHML	0,199
	Efeito Indireto UI	0,052
	Efeito Indireto SFI	-0,009
	Efeito Indireto ELG	0,156
	Efeito Indireto RP	-0,207
	Total	0,590
<b>Caráter</b>	<b>Elongamento</b>	
	Efeito Direto S/ Produtividade	-0,202
	Efeito Indireto MIC	0,128
	Efeito Indireto MAT	0,457
	Efeito Indireto UHML	-0,149
	Efeito Indireto UI	-0,335
	Efeito Indireto SFI	-0,007
	Efeito Indireto STR	-0,530
	Efeito Indireto RP	0,109
	Total	-0,224
	<b>Efeito Residual</b>	0,636
	<b>R<sup>2</sup></b>	0,60
	<b>Valor de k na análise</b>	5,066

Produtividade = Produtividade de algodão em caroço ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), RP= Rendimento de fibra (%), UHML = Comprimento de fibra (mm), UI = Uniformidade de fibra, SFI = Índice de fibras curtas (%), ELG = Alongamento de fibra, MIC = Índice Micronaire.

As características MIC, MAT, UHML, RP e STR demonstraram alta correlação com produtividade, tendo como destaque o MIC, uma vez que foi a característica que apresentou maior associação com o caractere produtividade de algodão em caroço, pois obteve a maior correlação (0,595) e o maior efeito direto (0,799).

Os caracteres MIC, MAT e STR tiveram efeito direto superiores a magnitude do efeito residual. Isto significa que estas variáveis são de grande importância para obter resposta correlacionada com produtividade. Vale ressaltar que MAT obteve efeito direto em sentido desfavorável, portanto, demonstra ausência de causa e efeito sobre produtividade.

Os caracteres MIC e STR apresentaram altas magnitudes de associação e o mesmo sinal das correlações para produtividade de algodão em caroço, além de demonstrarem maiores

efeitos direto (0,79 e 0,68, respectivamente). Isto evidencia que essas variáveis são as principais causas da variação para a característica principal, produtividade de algodão em caroço.

Todavia, levando em consideração a ANOVA, o caráter MIC possui um baixo coeficiente de determinação genotípico ( $h^2$ ), e, por conseguinte, inviabiliza sua utilização na seleção indireta. Este resultado corrobora com Carvalho et al. (2016), que encontraram para rendimento de fibra e MIC os valores que mais influenciaram na produtividade, ao analisarem o efeito indireto dos caracteres morfológicos e tecnológicos na produtividade, assim como Hoogerheide et al. (2007), que encontraram em MIC a maior correlação positiva com produtividade.

O caractere STR também registrou uma alta correlação com produtividade e possui alto valor de  $h^2$ , que prediz que a seleção indireta terá eficácia para ganhos de produtividade de algodão em caroço ao utilizarmos a seleção indireta em STR.

Ao analisarmos o caráter UHML, é possível verificar uma alta correlação favorável com produtividade. Contudo, seu baixo efeito direto expõe a existência de outro caráter de efeito indireto influenciando na associação, neste caso, o STR. Isto sugere que UHML não deve ser descartada na seleção indireta, pois em uma seleção truncada de UHML e STR poderá proporcionar bons resultados em produtividade.

Estes resultados diferem de Erande et al. (2014), que encontraram para comprimento de fibra e micronaire os maiores efeitos direto sobre produtividade em seu estudo de variabilidade, correlação e análise de trilha em algodoeiro (*Gossypium arboreum* L.). Resultado que diverge de Shaheen e Yaseen (2014), e Sahito et al. (2016), ao avaliarem a associação dos componentes na produtividade do algodoeiro.

## **5.6. Conclusões**

As características tecnológicas da fibra influenciam a produtividade do algodoeiro.

Seleção indireta de resistência pode propiciar ganhos de produtividade.

A seleção indireta truncada entre comprimento de fibra e resistência, pode possibilitar ganhos para produtividade para algodão em caroço.

## REFERÊNCIAS

AZEVEDO, A. M.; SEUS, R.; GOMES, C. L.; FREITAS, E. M.; CANDIDO, D. M.; SILVA, D. J. H.; CARNEIRO, P. C. S. Correlações genotípicas e análise de trilha em famílias de meios-irmãos de couve de folhas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, n.1, p. 35-44, 2016. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000100005>

BARROSO, P. A. V.; ALMEIDA, V. C.; ARAÚJO, R. L.; NETO, F. A.; PINTO, F. S. L.; HOFFMANN, L.V.; SANTOS, J. W.; SANTOS, T. S.; FONSECA, R. G. **Intensidade da cor da fibra de algodões coloridos**. Campina Grande: Embrapa-CNPA, 2005. (Comunicado Técnico, 249).

BELTRÃO, N. E. M.; CARVALHO, L. P. Algodão colorido no Brasil, e em particular no Nordeste e no Estado da Paraíba. Brasil. **Revista Brasileira de Oleaginosas e fibrosas**, Campina Grande, v.15, n.1, p.37-44, 2004. (Embrapa Algodão-Documents (INFOTECA-E)).

BONIFÁCIO, D. O. C.; MUNDIM, F. M; SOUSA, L. B. Variabilidade genética e coeficiente de determinação em genótipos de algodoeiro quanto a qualidade da fibra. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Pombal - Paraíba – Brasil, v.10, n. 3, p. 66-71, 2015.

BULUT, M. O.; AKAR, E. Ecological dyeing with some plant pulps on woolen yarn and cationized cotton fabric. **Journal of Cleaner Production**, USA, v. 32, p. 1- 9, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.03.010>

CARVALHO, L. P.; SALGADO, C. C.; FARIA, F. J. C.; CARNEIRO, V. Q. Estabilidade e adaptabilidade de genótipos de algodão de fibra colorida quanto aos caracteres de fibra. **Ciencia Rural**, Santa Maria, v. 45, p. 598-605, 2015. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr2013023>

CARVALHO, L. P.; ANDRADE, F. P.; SILVA FILHO, J. L. Cultivares de algodão colorido no Brasil **Revista brasileira oleaginosa fibrosas.**, Campina Grande, v.15, n.1, p.37-44, jan./abr. 2011

CARVALHO, L. P.; FARIA, F. J. C.; MORELLO, C. L.; TEODORO, P. E. Uso da metodologia REML/BLUP para seleção de genótipos de algodoeiro com maior adaptabilidade e estabilidade produtiva. **Bragantia**, Campinas, Brasil, v.75, n. 3, p. 314-321, 2016. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.275>

Companhia Nacional de Abastecimento- CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. v. 5, n. 3 , SAFRA 2017/18, Terceiro levantamento, dezembro 2017. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17\\_12\\_12\\_17\\_59\\_52\\_dezembro.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_12_12_17_59_52_dezembro.pdf)>. Acesso em: 01 jan. 2018.

CRUZ, C. D. Genes Software: extended and integrated with the R, Matlab and Selegen. **Acta Scientiarum**, Maringá PR/ Brasil, v. 38, n. 4, p. 547-552, 2016.

CRUZ, C. D. **Programa genes**: diversidade genética. Viçosa: UFV, 2006. 278 p.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético.** 3. ed. Viçosa: Editora UFV, 2014.

ENTRINGER, G. C.; SANTOS, P. H. A. D.; VETTORAZZI, J. C. F.; CUNHA, K. S. D.; PEREIRA, M. G. Correlation and path analysis for yield components of supersweet corn. **Revista Ceres**, Viçosa, Brasil, v. 61, n. 3, p. 356-361, 2014.

ERANDE, C. S.; KALPANDE, H. V.; DEOSARKAR, D. B.; CHAVAN, S. K.; PATIL, V. S.; DESHMUKH, J. D.; PUTTAWAR, M. R. Genetic variability, correlation and path analysis among different traits in desi cotton (*Gossypium arboreum* L.). **African Journal of Agricultural Research**, Victoria Island, Lagos, Nigeria, v. 9, n. 29, p. 2278-2286, 2014.

FARIA, S. V. D. **Adaptabilidade e estabilidade de híbridos comerciais de milho pelos métodos de eberhart e Russell, centróide, ammi e modelos mistos.** Dissertação de mestrado em Genética e Melhoramento, Viçosa, Brasil, 2016.

HOOGERHEIDE, E. S. S.; VENCOVSKY, R.; FARIA, F. J. C.; FREIRE, E. C.; ARANTES, E. M. Correlações e análise de trilha de caracteres tecnológicos e a produtividade de fibra de algodão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, Brasil, v. 42, n.10, p. 1401-1405, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2007001000005>

IMAMT. **A classificação do algodão.** cap. 15. Disponível em:  
<[http://www.imamt.com.br/system/anexos/arquivos/238/original/3\\_-\\_MANUAL\\_15\\_19.pdf?1404999627](http://www.imamt.com.br/system/anexos/arquivos/238/original/3_-_MANUAL_15_19.pdf?1404999627)> 2014 Acesso 01 Jan 2018.

JERÔNIMO, J. F.; ALMEIDA, F.; SILVA, O. R. R. F.; BRANDÃO, Z. N.; SOFIATTI, V.; GOMES, J. P. Qualidade da semente e fibra de algodão na caracterização do descarocador de 25 serras. **Embrapa Algodão-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2014.

KANG, M. S.; MILLER, J. D.; TAI, P. Y. P. Genetic and phenotypic path analysis and heritability in sugarcane. **Crop Science**, Madison, USA, v. 23, p. 643-647, 1983.  
<https://doi.org/10.2135/cropsci1983.0011183X002300040010x>

MONTGOMERY, D. C.; PECK, E. A. **Introduction to linear regression analysis.** New York: J. Wiley, 1981. 504 p.

MOREIRA, S. O.; GONÇALVES, L. S. A.; RODRIGUES, R.; SUDRÉ, C. P.; AMARAL JÚNIOR, A. T.; MEDEIROS, A. M. Correlações e análise de trilha sob multicolinearidade em linhas recombinadas de pimenta (*Capsicum annuum* L.). **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 8, n.1, p. 15-20, 2013. <https://doi.org/10.5039/agraria.v8i1a1726>

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. D. F.; SANTOS, J. D.; NUNES, J. A. R. **Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas.** Ed. Lavras: Ed. UFLA, Lavras, 2012. 522 p.

REDDY, K. B.; REDDY, V. C.; AHMED, M. L.; NAIDU, T. C. M.; SRINIVASARAO, V. Correlation and path coefficient analysis in upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.). **Int. J. Pure App. Biosci.**, Rajasthan, India, v. 3. n. 3, p. 70-80, 2015.

REHMAN, S.; ABID, M. A.; BILAL, M.; ASHARAF, J.; LIAQAT, S.; AHMAD, R. I.; QAMBAR, G. Genotype by trait analysis and estimates of heritability of wheat (*Triticum aestivum* L.) under drought and control conditions. **Basic Research Journal of Agricultural Science and Review**, USA, v. 4, n. 4, p.127–134, 2015.

ROMANATO, F. N. **Correlações fenotípicas e genotípicas, adaptabilidade e estabilidade em genótipos de soja**. Dissertação de mestrado em agronomia, Universidade Federal de Uberlândia, Brasil, 2013.

SAHITO, J. H.; GAO, S.; NIE, Z.; ABRO, S.; CHANNA, S. A.; WAHOCHO, N. A. Correlation analysis of yield and fiber traits in upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.), Dubai, UAE, Am-Euras. J. Agric. & Environ. Sci., 16 (7): 1331-1334, 2016.

SALLA, V. P.; DANNER, M. A.; CITADIN, I.; SASSO, S. A. Z.; DONAZZOLO, J.; GIL, B. V. Análise de trilha em caracteres de frutos de jabuticabeira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 50, n. 3, p. 218-223, mar. 2015. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2015000300005>

SHAHEEN, M; YASEEN, M. Path analysis based on genetic association of yield components. **Life Sciences International Journal**, Tamil Nadu, India, v. 8, p. 2988-2994, 2014.

SHAHZAD, M. T.; IJAZ, F.; KHAN, O.; SALEEM, B.; HASSAN, U. Correlation, path analysis e heritability among some yield and fibre related traits of *Gossypium hirsutum* L. **Cotton Genomics and Genetics**, British Columbia Canada v. 6, n. 4, 2015.

TOEBE, M.; CARGNELUTTI FILHO, A. Não normalidade multivariada e multicolinearidade na análise de trilha em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 48, n. 5, p. 466-477, maio. 2013

WRIGHT, S. Correlation and causation. **Journal of Agricultural Research**, Washington, v. 20, p. 557-585, 1921.