

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

ARTHUR PRADO XAVIER SANTOS
11621AGR050

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
USO DAS REDES NEURAIAS PARA DETERMINAR ADAPTABILIDADE E
ESTABILIDADE DE CULTIVARES DE ALGODOEIRO

Orientadora: Prof. Dra. Larissa Barbosa de Sousa

UBERLÂNDIA-MG
JANEIRO/2023

ARTHUR PRADO XAVIER SANTOS

USO DAS REDES NEURAIIS PARA ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE
CULTIVARES DE ALGODOEIRO

Trabalho de conclusão de curso
apresentado à Universidade Federal de
Uberlândia, como parte das exigências do
Curso de graduação em Agronomia, para
obtenção do título de “Engenheiro Agrônomo”.

Orientadora: Prof. Dra. Larissa Barbosa de
Sousa

UBERLÂNDIA-MG

JANEIRO/2023

ARTHUR PRADO XAVIER SANTOS

USO DAS REDES NEURAIIS PARA DETERMINAR ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE CULTIVARES DE ALGODOEIRO

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências do Curso de graduação em Agronomia, para obtenção do título de “Engenheiro Agrônomo”.

Orientadora: Prof. Dra. Larissa Barbosa de Sousa

Cidade, data

Banca Examinadora:

Nome – Titulação (sigla da instituição)

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me dar forças e conceder o dom da vida, a possibilidade de me tornar uma pessoa melhor, caminhando para sempre ser honrado por minhas atitudes e pensamentos.

Aos meus pais Lúcio e Sandra, pelo amor e apoio em todos os momentos de minha vida e por serem minhas referências pessoais e profissionais. Obrigado também, por transmitirem valores primordiais e demonstrarem o valor da família.

À minha irmã e amiga Maísa, por todos os momentos vividos, estes que sempre nos fazem crescer e nos tornam mais unidos.

Agradeço à Prof.^a Dr.^a Larissa Barbosa de Sousa, pela orientação, por toda dedicação, compreensão e por acreditar não só em mim, mas em todos que aprendem sob sua tutoria. Seu apoio acadêmico e amizade foram vitais para que o curso pudesse ser finalizado e aproveitado.

Agradeço aos membros do Programa de Melhoramento Genético do Algodoeiro da Universidade Federal de Uberlândia 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.

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.

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

RESUMO

O objetivo do presente trabalho foi avaliar o potencial das Redes Neurais Artificiais (RNA's) na determinação de adaptabilidade e estabilidade de características de produtividade e qualidade de fibra em cultivares de algodoeiro. O projeto foi instalado em 6 localidades (Uberlândia-MG, Trindade-GO, Chapadão do Sul-MT, Campo Verde-MG, Primavera do Leste 1 e 2 – MT), foram utilizados 12 genótipos de algodoeiro (FM 906 GLT, FM 911 GLTP, FM 954 GLT, TMG 50 WS3, TMG 44 B2RF, TMG 31 B3RF, IMA 5802 B2RF, DP 1536 B2RF, DP 555 BGRR, DP 1734 B2RF, BRS 430 B2RF, BRS 368 RF). Estes foram dispostos em parcelas de quatro linhas com sete metros lineares e um metro de espaçamento entre linhas, sendo somente as duas linhas centrais consideradas para avaliação, foi utilizado o delineamento de blocos ao acaso (DBC) com quatro repetições. Os dados experimentais serão tabulados em planilhas Excel e analisados pelo programa estatístico GENES (CRUZ, 2016) e MATLAB (BEALE et al., 2017), específico para estatística aplicada ao melhoramento genético de plantas. Foram realizadas as seguintes análises: análise de variância (ANAVA), teste de Scott-Knott, adaptabilidade e estabilidade pelos métodos Eberhart e Russell (1966), com e sem o auxílio das Redes Neurais Artificiais. Os resultados indicaram que os genótipos classificados como grupo 5 ou 2 são promissores para o produtor que planeja investir em proporcionar a melhor condição para desenvolvimento do algodoeiro. Já os classificados em grupo 6 ou 3 são promissores para o produtor que não deseja investir em manejo tecnológico e de alta qualidade. Encontrou-se coincidência entre os métodos tradicionais de Eberhart e Russell e as Redes Neurais Artificiais de 58,3% em termos de adaptabilidade e 41,6% em relação à estabilidade. Por fim, o uso das RNA's pode ser uma boa alternativa para baixo número de localidades, visto que possuem a característica de autoaprendizagem, portanto, alto potencial de seu uso no melhoramento de plantas.

Palavras-chave: *Gossypium hirsutum*, interação GxA, Redes Neurais

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| 1. INTRODUÇÃO | 7 |
| 2. REVISÃO DE LITERATURA..... | 9 |
| 2.1 O ALGODOEIRO..... | 9 |
| 2.2 MELHORAMENTO GENÉTICO DE ALGODÃO..... | 10 |
| 2.3 INTERAÇÃO GENÓTIPO x AMBIENTE..... | 10 |
| 2.4 ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE | 11 |
| 2.5 REDES NEURAIS ARTIFICIAIS..... | 13 |
| 3. METODOLOGIA..... | 14 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 16 |
| 5. CONCLUSÕES..... | 21 |
| 6. REFERÊNCIAS..... | 22 |

1. INTRODUÇÃO

Pertencente à família Malvaceae, o algodoeiro, possui origem registrada em terras do Paquistão e também no litoral norte do Peru (AMIPA, 2016). Esta cultura é uma das mais importantes peças da agricultura mundial, a espécie herbácea possui ciclo de 120 a 200 dias, é composta pelas espécies *Gossypium hirsutum* e *Gossypium barbadense*, e predomina nos solos de todo o mundo, sendo a primeira, responsável por 90% da produção mundial (BELTRÃO et al., 2011).

O Brasil é colocado como o quarto maior produtor de algodão do mundo, o segundo maior exportado e nono maior consumidor da fibra (USDA, 2022). A produção de aproximadamente 2,3 milhões de toneladas no país é devida ao crescimento massivo de área plantada nos últimos anos, porém este valor ainda está distante do potencial máximo de produção brasileiro (CONAB, 2022).

Em território brasileiro, o estado do Mato Grosso detém cerca de 70% da área de algodão cultivada, principalmente na região oeste do estado, em cidades como Sapezal, Rondonópolis e Campo Verde. Os outros 30% da área está dividida entre os outros estados produtores, sendo os mais relevantes Bahia, Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso do Sul (CONAB, 2022)

Com isso, a missão do melhoramento genético de plantas consiste em criar cultivares com características que potencializem seu desempenho. Os avanços nos cruzamentos genéticos geraram espécies de alta produtividade, resistentes a pragas e doenças, tolerantes ao déficit hídrico e que são adaptadas ao clima da região que será plantada (AMABILE et al., 2018).

Nos dias atuais, os programas de melhoramento genético do algodoeiro no Brasil ainda visam a produção de cultivares que atendam às necessidades da indústria têxtil nacional. Com isso, a seleção de características foca em altas produtividades, ciclos mais curtos, maior rendimento de pluma e qualidade de fibra. A Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária (EMBRAPA) dispõe de várias cultivares que já atendem às características mais buscadas, incluindo a produção de algumas cultivares transgênicas (VASCONCELOS, 2016).

Após a obtenção do genótipo desejado, são conduzidos ensaios multiambientais para testar a adaptação geral e específica das cultivares. Em muitos casos, ocorre grande variação no desenvolvimento e produtividade das plantas quando inseridas em locais com condições ambientais diferentes, essas mudanças são referidas como interação genótipos x ambientes (G x A) (ARCINIEGAS-ALARCÓN & DIAS, 2009).

Segundo Campbell & Jones (2005), a interação G x A é definida como a resposta diferencial dos genótipos para um dado caráter em diferentes ambientes. No trabalho também é comentado que para o desenvolvimento de um bom estudo, é essencial que a escolha dos locais e condições ambientais que o genótipo será testado seja altamente representativa para os locais em que o programa de melhoramento direciona seu objetivo.

Desta forma, as análises de adaptabilidade e estabilidade surgem como ferramenta para identificar a diferença no rendimento dos genótipos avaliados em diferentes condições ambientais (CARNEIRO, 2015). Esta estratégia, busca realizar uma determinação generalizada para uma região baseada no comportamento dos genótipos, podendo ser representativa para grandes regiões produtoras (CHAVES, 2001; MAIA et al., 2013).

Dentre os métodos existentes, Eberhart e Russel (1966) é extensamente utilizado devido à facilidade na sua interpretação. Entretanto, segundo Nascimento et al. (2013) o método possui fragilidade em sua precisão quando testado em um número de ambientes menor que 10, podendo causar a não rejeição da hipótese nula quando falsa.

Assim, com a tecnologia, revelaram-se alternativas que visam contornar fraquezas do método tradicional. A inteligência computacional surge como uma ferramenta que trabalha utilizando modelos matemáticos que objetivam simular a lógica humana com aproximações e conexões entre os aprendizados em relação aos dados trabalhados (CARNEIRO, 2015). Um dos ramos da computação que seguem o conceito de aprendizado análogo ao cérebro humano são as Redes Neurais Artificiais (RNA's). Estas permitem uma possibilidade de previsões, reconhecimento de padrões e formação de grupos, e oferecem vantagens quanto à não necessidade de conhecimento a priori dos dados (HAYKIN, 2008; BRAGA et al., 2011).

Com a modernização da agricultura, a adoção da inteligência artificial é vista como um artifício capaz de fornecer alternativas viáveis para o melhoramento de plantas. Dito isso, o objetivo deste trabalho foi avaliar e comparar o uso das Redes Neurais Artificiais em relação ao método tradicional de Eberhart e Russel (1966) na determinação da adaptabilidade e estabilidade de cultivares de algodoeiro branco.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 O ALGODOEIRO

Registros apontam que a domesticação do algodão tem marco inicial no século XVII, em fiações rudimentares realizadas pelos árabes. Com o frequente aumento de negócios realizados entre Europa e Oriente Médio, o algodoeiro conquista espaço no mercado europeu e assim supera a lã, até então predominante no continente (FERRAZ, 2012).

No Brasil, nota-se que já no século XIX o algodão era fração importante na renda de agricultores familiares, principalmente na região nordeste. Isso ocorreu devido à alta capacidade de resistência à seca e potencial de produção com baixa disponibilidade hídrica do algodoeiro, com isso os bioma do Cerrado propiciou condições edafoclimáticas ideais para o cultivo da cultura, associados com alto investimento, promoção da ciência e do êxito dos programas de melhoramento em criarem cultivares altamente adaptadas à região (EROS; CAMÂRA, 2013).

Em aspectos botânicos, o algodoeiro se encaixa como uma planta dicotiledônea hirsuta ou glabra, anual ou perene, herbácea, arbustiva ou arbórea, pertencente à família das Malváceas e do gênero *Gossypium* (TROPICOS, 2013). O produto visado, que é denominado algodão em caroço, é composto pela pluma ou fibra, e pelo caroço, caracterizado por ser uma semente envolta em fibras curtas. Sua utilização é concentrada nas indústrias têxteis, nas indústrias de alimentação animal e humana (óleo), respectivamente (PENNA, 2005).

Dentre as espécies cultivadas no mundo, *Gossypium hirsutum* e *Gossypium barbadense* são as mais exploradas, sendo a primeira responsável por 90% da produção. São espécies alotetraploides $2n=4x=52$, e possuem centro de origem nas Américas central e do sul, respectivamente (GRID-PAPP, 1965). O algodoeiro se tornou uma das mais importantes culturas da agricultura mundial, possuindo ciclo de 120 a 200 dias, de acordo com condições genéticas e ambientais (BELTRÃO et al., 2011).

Nas últimas safras, o algodão se manteve com grande presença nas lavouras brasileiras, ocupando lugar de destaque no cenário agrícola do país. Segundo o levantamento da CONAB (2022), na safra 2021/2022 houve uma produção de 2,55 milhões de toneladas da pluma e as previsões para a safra seguinte são bastante otimistas em relação à produção e também ao aumento das exportações da fibra.

É importante destacar a existência de genótipos que apresentam fibra naturalmente colorida, entretanto estas não apresentam produtividade e qualidade fibra competitiva com o algodão de fibra branca, que é o principal atuante no mercado. Dentre os objetivos dos programas de melhoramento, encontra-se a busca pela melhoria do algodão colorido a fim de deixá-lo competitivo no mercado brasileiro e mundial.

2.2 MELHORAMENTO GENÉTICO DE ALGODÃO

De acordo com Penna (2005), os programas de melhoramento genético do algodoeiro tiveram início em 1921, quando a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) deu o pontapé inicial para gerar cultivares adaptadas para as regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste. Em seguida, o Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) iniciou seus trabalhos com grandes estudos sobre o algodoeiro arbóreo e herbáceo.

Na década de 80, houve uma grande decadência da cultura do algodoeiro e conseqüente desligamento de diversos programas de melhoramento, principalmente no Nordeste do Brasil. Isso ocorreu devido à entrada no bicudo-do-algodoeiro (*Anthonomus grandis*) no país, se espalhando pelas lavouras da fibra natural e provocando sua completa destruição (VIDAL NETO; FREIRE, 2013).

Na Universidade Federal de Uberlândia, o programa de melhoramento genético em algodoeiro teve início no ano 1995, representado pelo professor Dr. Júlio César Viglioni Penna, e objetiva de desenvolver genótipos de algodoeiro de fibra colorida visando suprir a demanda de trabalhos sociais da região voltados a tecelagem.

Hoje o programa é coordenado pela Professora Dr. Larissa Barbosa de Sousa e visa utilizar métodos de melhoramento clássico e molecular, para aprimorar as tecnologias de produção do algodoeiro na região de Uberlândia, focando no desenvolvimento de novas cultivares brancas e coloridas convencionais, com alta produtividade e adaptadas às condições regionais.

2.3 INTERAÇÃO GENÓTIPO AMBIENTE

Apesar dos trabalhos resultantes dos programas de melhoramento ter alcançado ótimos resultados em termos genéticos, sabe-se que uma cultivar pode ter sua performance alterada de acordo com as condições ambientais em que for inserida. Esta modificação no desempenho do

genótipo é conhecida como interação genótipo x ambiente (GxA) (ARCINIEGAS-ALARCÓN & DIAS, 2009).

Esta alteração de desempenho pode ser normalmente representada por três situações. Na primeira situação não ocorre interação G x A, isso ocorre quando o ambiente promove a mesma interação entre os genótipos. Já na segunda, acontece interação do tipo simples, exibindo que houve diferença no comportamento dos genótipo em um mesmo ambiente, porém não há alterações em suas posições

Por fim, na terceira situação é exposto um interação complexa, significando que não há consistência de superioridade, ou seja, o genótipo superior em um ambiente, não é superior em outro ambiente. Esse tipo de interação não apresenta vantagem ao profissional caso o objetivo do programa de melhoramento seja identificar uma cultivar com boa adaptação em diferentes ambientes, por outro lado, é vantajoso se o objetivo do programa for selecionar um genótipo altamente adaptado a um ambiente (BORÉM; MIRANDA; FRITSCHÉ-NETO, 2017).

2.4 ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE

As análises de adaptabilidade e estabilidade são de grande importância ao melhoramento genético, elas auxiliam o melhorista a determinarem quais genótipos são mais adaptados aos ambientes testados. De acordo com as definições de Eberhart e Russel (1966), o termo adaptabilidade faz menção à competência dos genótipos em aproveitarem de forma vantajosa as condições ambientais em que estes estão dispostos, já estabilidade faz referência a quanto estes genótipo possuem comportamento altamente previsível quando submetidos a estas condições de cultivo.

Existem diversos métodos responsáveis por determinar a adaptabilidade e estabilidade, dentre eles podemos citar o método de centroide, método de análise de regressão e método da ecovalência. Todavia, o método de Eberhart e Russel é extensamente utilizado, devido à facilidade em sua interpretação e visualização, porém a escolha do método a ser utilizado deve ser baseado nos dados experimentais a serem avaliados (SILVEIRA, 2019).

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:

$$Y_{ij} = \beta_0i + \beta_1i + I_j + \delta_{ij} + \bar{\epsilon}_{ij}$$

Em que: Y_{ij} : média do genótipo i no ambiente j ;
 β_{0i} : média geral do genótipo;
 β_{1i} : coeficiente de regressão linear, que mede a resposta do i -ésimo genótipo à variação do ambiente; I_j : índice ambiental codificado ($\sum I_j = 0$);
 δ_{ij} : desvio da regressão;
 $\bar{\epsilon}_{ij}$: erro experimental médio

Para os valores ideais, o coeficiente de regressão (β_{1i}) 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 (σ^2) iguais a 0 demonstrando alta previsibilidade e estabilidade dos genótipos (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2014).

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

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

Após os cálculos e interpretações, as classificações dos genótipos podem ser encontradas de acordo com a tabela abaixo.

Tabela 1. Classes de genótipos por meio da metodologia de Eberhart e Russell (1966) e os respectivos valores paramétricos

| Classe | Classificação | 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 $\sigma^2_{di} = 0$ |

2.5 REDES NEURAIIS ARTIFICIAIS

As Redes Neurais Artificiais são consideradas técnicas computacionais baseadas em modelos matemáticos, todo o processo é inspirado pela estrutura neural de organismos inteligentes que aprendem de acordo com a experiência. Este método possui vantagens devido a não necessitar de informação prévia dos dados inseridos, além de possui alta capacidade de adaptação e predição (CARDOSO, 2019).

Basicamente, uma rede neural é composta por unidades de processamento de simples funcionamento. Estas unidades são geralmente conectadas umas às outras e associadas a determinados pesos, e esta interação entre as unidades e seus pesos são a chave para o rápido aprendizado e apresentação de resultados (CARDOSO, 2019).

Entretanto, quando no ponto em que estes algoritmos de aprendizagem são melhorados e altamente precisos, se tornam ferramentas potentes, permitindo um agrupamento e classificação de dados em altíssima velocidade.

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, $Z_m = \gamma(\alpha_0 m + \alpha T_m X)$, $m = 1, 2, \dots, M$ e saída, Y_k , são modelados como funções dessas combinações, onde $T_k = \beta_0 k + \beta T_k Z$, $k = 1, 2, \dots, K$, $Y_k = f_k(X) = g_k(T)$, $k = 1, 2, \dots, k$, 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:

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

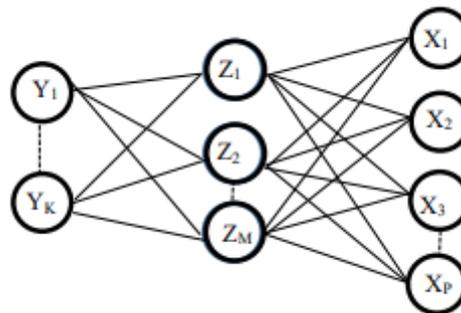


Figura 1. Adaptado de Nascimento et al. (2013).

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, $g_k(T) = T$. Analisando genótipos não comerciais de algodão, Cardoso (2019) que as RNA's podem oferecer uma boa alternativa para conjunto de dados que possuem poucos ambientes. Dessa forma aprimorando uma das fraquezas encontradas no método tradicional de Eberhart e Russel (1966).

3. METODOLOGIA

O trabalho foi executado em condições de campo, em uma área experimental situada na Fazenda Capim Branco, pertencente a Universidade Federal de Uberlândia, localizada no município de Uberlândia, Minas Gerais, cujo as coordenadas geográficas são latitude 18°52'54.2" S, longitude 48°20'32.8" W, com altitude de 805 metros, inserida em uma região de clima temperado com temperatura máxima de 28°C e mínima de 22°C.

A área em que foi instalado o experimento situa-se sobre um Latossolo Vermelho Escuro Distrófico. Antes da implantação do experimento será feita a amostragem de solo, sendo encaminhada para o laboratório de análises químicas e físicas do solo, para fins de recomendação de calagem e adubação.

O experimento contou com semeadura realizada de forma manual, adotando-se 8 sementes por metro linear, cada genótipo disposto em duas linhas com 7 m de comprimento cada, espaçadas em 1 m.

As sementes utilizadas no trabalho foram fornecidas pela Embrapa Algodão, situada em Campina Grande – PB, em parceria com Bayer Seeds/Basf, IMA MT, TMG e Monsanto. Dessa forma, serão avaliados 12 genótipos comerciais, de algodoeiro de fibra branca, com ciclo médio-precoce, sendo eles:

Tabela 2. Genótipos de algodoeiro de fibra branca utilizados como tratamentos.

| Genótipos de Algodão | |
|----------------------|-------------------|
| 1 - FM 906 GLT | 7 - IMA 5802 B2RF |
| 2 - FM 911 GLTP | 8 - DP 1536 B2RF |
| 3 - FM 954 GLT | 9 - DP 555 BGRR |
| 4 - TMG 50 WS3 | 10 - DP 1734 B2RF |
| 5 - TMG 44 B2RF | 11 - BRS 430 B2RF |
| 6 - TMG 31 B3RF | 12 - BRS 368 RF |

O delineamento utilizado é de blocos ao acaso com 4 repetições, e as parcelas experimentais serão compostas de quatro linhas de sete metros lineares, onde serão avaliadas somente as duas linhas centrais.

Durante o desenvolvimento da cultura foram realizadas pulverizações com produtos registrados para o algodoeiro, para o controle das principais pragas, sendo elas: mosca branca (*Bemisia tabaci*), pulgão (*Aphis gossypii*), bicudo do algodoeiro (*Anthonomus grandis*), tripes (*Frankliniella spp.*), curuquerê (*Alabama argilacea*) e ácaro rajado (*Tetranychus urticae*).

O controle de plantas daninhas foi realizado de forma mecânica, através de capinas e de forma química utilizando herbicidas de forma pré e pós a emergência das invasoras. As principais ocorrentes na área foram: apaga-fogo (*Alternanthera tenella*), carrapicho (*Cenchrus echinatus*), tiririca (*Cyperus rotundus*), capim pé-de-galinha (*Eleusine indica*), carrapicho de carneiro (*Acanthospermum hispidum*), trapoeraba (*Commelina benghalensis*) e picão preto (*Bidens pilosa*). Foram realizadas pulverizações do regulador de crescimento cloreto de mepiquat (1,1-dimethylpiperidinium chloride), produto comercial PIX HC.

Junto à colheita do experimento, serão colhidos 30 capulhos por parcela, na posição mediana das plantas, e encaminhadas para a Embrapa Algodão para fins de descaroçamento e análises em HVI.

Em relação às características da fibra, serão analisados:

- *Micronaire* (MIC): que é a medida do diâmetro da fibra.
- Maturação (MAT): representa o grau de desenvolvimento da parede da fibra.
- Uniformidade do comprimento (UNF): relação entre o comprimento médio da metade superior em uma amostra.
- Resistência à ruptura (STR).
- Comprimento médio de fibras (UHML).
- Índice de fibras curtas (SFI).
- Percentual de alongamento à ruptura (ELG).

Já quanto às características de produtividade, foram avaliados:

- Peso de algodão com caroço.
- Peso de algodão em pluma.
- Porcentagem de fibras (%).
- Peso de um Capulho.

Os dados experimentais serão tabulados em planilhas Excel e analisados pelo programa estatístico GENES (CRUZ, 2016) e MATLAB (BEALE et al., 2017), específico para estatística aplicada ao melhoramento genético de plantas. Foram realizadas as seguintes análises: análise de variância (ANAVA), teste de Scott-Knott, adaptabilidade e estabilidade pelos métodos Eberhart e Russell (1966), com e sem o auxílio das Redes Neurais Artificiais.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com as análises, na Tabela 3 encontramos os resultados da análise de variância quanto às características de qualidade de fibra das 12 cultivares avaliadas em 6 localidades diferentes no Brasil. Nota-se que os valores do coeficiente de variação (CV) ficaram entre o intervalo 1.02% e 9.81%, indicando alta precisão experimental para estas características, em trabalhos realizados por Jeronimo (2014) e Silveira (2019) foram encontrados valores de 29.52% e 22.83%, portanto valores acima dos obtidos neste trabalho.

Ainda com os resultados mostrados na Tabela 3, verifica-se que foram obtidos efeitos significativos para os genótipos quanto às características de uniformidade de comprimento (UNF), percentual de alongamento de fibra (ELG) e maturação (MAT), indicando que existe variância na qualidade de fibra de cultivares atuantes no mercado algodoeiro. Em relação aos ambientes, percebe-se que houve diferença significativa em relação a todas as características, o que mostra a variedade de condições ambientais entre os ambientes testados e confirma que a escolha destes foi representativa.

Em relação à interação genótipo x ambiente, os resultados mostram que houve efeito significativo para índice de fibras curtas (SFI) e maturação (MAT), o que aponta alguma diferença no desempenho de qualidade de fibra dos genótipos quando inseridos em diferentes condições ambientais. Em seu trabalho, Cardoso (2018) encontrou resultados significativos, para qualidade de fibra, quanto à interação genótipo x ambiente em 12 genótipos de algodoeiro submetidos a 4 ambientes distintos, o que demonstra concordância com o presente trabalho.

Tabela 3. Análise de variância de características de qualidade de fibra de 12 cultivares de algodoeiro em 6 diferentes localidades.

| FV | GL | Quadrados Médios | | | | | | |
|----------|----|------------------|--------|----------|---------|--------|----------|-------|
| | | UHM | UNF | SFI | STR | ELG | MIC | MAT |
| Genótipo | 11 | 9.49 ns | .57 ** | 11.57 ns | 8.95 ns | .15 ** | 14.47 ns | 4.4 * |
| Ambiente | 5 | .0 ** | .06 ** | .0 ** | .0 ** | .0 ** | .0** | .0 ** |

| | | | | | | | | |
|---------|----|----------|--------|--------|---------|----------|---------|-------|
| GenXAmb | 55 | 21.07 ns | 9.6 ns | .97 ** | 5.03 ns | 13.53 ns | 5.91 ns | 2.0 * |
| CV (%) | | 3.31 | 1.73 | 9.48 | 6.35 | 9.81 | 7.03 | 1.02 |

No que se refere às características de produtividade, podemos analisar na Tabela 4 que houveram efeitos significativos para todas as variáveis analisadas, o que indica diferença produtiva entre os genótipos analisados. Em relação aos ambientes, o resultados seguem os encontrados na Tabela 3, mostrando variedade de condições de cultivo, já interação genótipo x ambiente expõe efeito significativo somente para a característica de peso de algodão em pluma. Estes resultados corroboram com os encontrados por Silveira (2019), que avaliou características de produtividade para 12 genótipos de algodoeiro em 5 diferentes ambientes.

Tabela 4. Análise de variância de características de produtividade de 12 cultivares de algodoeiro em 6 diferentes localidades.

| FV | GL | Quadrados Médios | | | |
|-----------|----|------------------|--------|---------|----------|
| | | Pcaroço | Ppluma | %fibras | PCapulho |
| Genótipo | 11 | .0 ** | 1.05 * | .0 ** | .0 ** |
| Ambiente | 5 | .0 ** | .0 ** | .65 ** | .0 ** |
| Gen x Amb | 55 | 31.05 ns | 2.13 * | 15.96ns | 100.0 ns |
| CV (%) | | 12.09 | 11.35 | 6.28 | 14.48 |

Buscando analisar característica altamente relevante para o mercado algodoeiro, a variável peso de algodão em pluma foi a selecionada para análise de médias e posteriormente submetida às análises de adaptabilidade e estabilidade determinadas. Na Tabela 5, podemos visualizar o detalhamento das médias de 12 cultivares de algodoeiro em 6 localidades no Brasil.

Tabela 5. Médias de peso de algodão em pluma (g) de 12 genótipos de algodoeiro em 6 diferentes localidades.

| Genótipos | Ambientes | | | | | |
|-----------|-----------|----------|-----------|----------|------------|------------|
| | Uber. | Trindade | C. Do Sul | C. Verde | P. Leste 1 | P. Leste 2 |
| FM 906 | 76.25 Aa | 53.50 Ca | 65.00 Ba | 82.75 Aa | 66.75 Ba | 67.00 Bb |
| FM 911 | 78.00 Aa | 50.00 Ca | 71.50 Aa | 81.25 Aa | 63.25 Ba | 71.75 Aa |
| FM 954 | 62.77 Bb | 52.25 Ba | 69.50 Aa | 81.00 Aa | 73.50 Aa | 61.25 Bb |
| TMG 50 | 77.71 Aa | 53.25 Ba | 78.00 Aa | 86.00 Aa | 61.50 Ba | 66.25 Bb |

| | | | | | | |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| TMG 44 | 73.50 Aa | 52.75 Ba | 66.75 Aa | 77.00 Aa | 64.25 Aa | 68.50 Aa |
| TMG 31 | 69.25 Bb | 53.25 Ca | 69.00 Ba | 79.25 Aa | 65.50 Ba | 60.50 Cb |
| IMA 5802 | 70.25 Bb | 55.75 Ca | 77.50 Aa | 84.00 Aa | 69.25 Ba | 80.25 Aa |
| DP 1536 | 81.25 Aa | 53.00 Ba | 71.75 Aa | 73.75 Aa | 67.50 Aa | 62.25 Bb |
| DP 555 | 76.08 Aa | 49.00 Ca | 75.25 Aa | 78.75 Aa | 61.75 Ba | 73.75 Aa |
| DP 1734 | 70.50 Ab | 51.00 Ba | 68.25 Aa | 75.50 Aa | 56.25 Ba | 63.00 Ab |
| BRS 430 | 81.21 Aa | 59.00 Ca | 71.25 Ba | 88.00 Aa | 71.75 Ba | 56.50 Cb |
| BRS 368 | 62.48 Bb | 49.75 Ca | 70.00 Ba | 79.75 Aa | 67.25 Ba | 71.75 Ba |

Analisando a Tabela 5, ao compararmos as médias de peso de algodão em pluma de cada genótipo, em relação ao seu comportamento em cada um dos ambientes testados percebemos que todos os materiais genéticos tiveram variação em pelo menos 2 ambientes. Com isso, atestamos que as distintas condições ambientais nos ambientes escolhidos influenciaram na performance de produtividade de pluma das cultivares analisadas.

Os genótipos que apresentaram maior e menor média, respectivamente, foram: BRS 430 B2RF em Campo Verde – MT e DP 555 BGRR em Trindade – GO. Nota-se que as piores médias encontradas estão concentradas no município de Trindade – GO, assinalando que a localidade ofereceu piores condições de cultivo para as plantas.

Já quando é realizada a comparação entre as médias dos genótipos em somente uma localidade, percebe-se que houve diferença significativa em apenas 2 ambientes, sendo eles Uberlândia-MG e Primavera do Leste 2 – MT. Dessa forma, podemos observar uma proximidade no desempenho dos materiais na maioria dos ambientes, o que já é esperado, pois trata-se de cultivares atuantes no mercado algodoeiro, e portanto devem ser competitivas entre si. Especificamente em Uberlândia, as cultivares que apresentaram melhor e pior desempenho, respectivamente, foram: DP 1536 B2RF e BRS 368 RF.

Posteriormente, as análises de adaptabilidade e estabilidades foram processadas e apresentadas, na Tabela 6 encontram-se os resultados relativos ao método tradicional de Eberhart e Russel (1966). Em relação à adaptabilidade, os genótipos FM 906, FM 911, TMG 50 e DP 555 são classificados como adaptados a ambientes favoráveis, enquanto os genótipos FM 954, TMG 44, TMG 31, IMA 5802, DP 1536, DP 1734 e BRS 368 foram agrupados como adaptabilidade a ambientes desfavoráveis.

Por outro lado, em termos de estabilidade, os genótipos FM 911, TMG 50, TMG 44, TMG 31 e DP 1734 apresentam previsibilidade considerada alta e portanto estáveis, por apresentarem valores de R² maiores que 90%.

Tabela 6. Entradas padronizadas e classificação quanto ao estabilidade de 12 genótipos submetidas ao método tradicional de Eberhart e Russell (1966).

| Genótipos | Média | β_1 | R ² | Classificação/Grupo |
|-----------|-------|-----------|----------------|--|
| FM 906 | 68,54 | 1,01 | 89.57 | Adaptado a ambientes favoráveis - 2 |
| FM 911 | 69,29 | 1,17 | 93.36 | Adaptado a ambientes favoráveis - 5 |
| FM 954 | 66,71 | 0.87 | 64.5 | Adaptado a ambientes desfavoráveis - 3 |
| TMG 50 | 70,45 | 1,25 | 91.83 | Adaptado a ambientes favoráveis - 5 |
| TMG 44 | 67,12 | 0.87 | 94.16 | Adaptado a ambientes desfavoráveis - 6 |
| TMG 31 | 66,12 | 0.9 | 92.41 | Adaptado a ambientes desfavoráveis - 6 |
| IMA 5802 | 72,83 | 0.92 | 72.66 | Adaptado a ambientes desfavoráveis - 3 |
| DP 1536 | 68,25 | 0.89 | 72.78 | Adaptado a ambientes desfavoráveis - 3 |
| DP 555 | 69,09 | 1,14 | 85.91 | Adaptado a ambientes favoráveis - 2 |
| DP 1734 | 64,08 | 0.94 | 91.26 | Adaptado a ambientes desfavoráveis - 6 |
| BRS 430 | 71,28 | 1,69 | 66.60 | Adaptado a ambientes favoráveis - 2 |
| BRS 368 | 66,83 | 0.92 | 73.37 | Adaptado a ambientes desfavoráveis - 3 |

Já na Tabela 7, podemos encontrar os resultados obtidos ao utilizarmos o método das Redes Neurais Artificiais baseado no método de Eberhart e Russell (1966). De acordo com as saídas do processamento da rede, nota-se que os genótipos FM 911, IMA 5802, DP 1536 e DP 555 são classificados como materiais com adaptabilidade específica a ambientes favoráveis e previsibilidade alta, agrupados como classificação 5. Por outro lado, os genótipos FM 906, FM 954, TMG 50, TMG 44, TMG 31, DP 1734, BRS 430 e BRS 368 obtiveram a classificação de materiais com adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis e previsibilidade alta, e assim colocados no grupo 6, de acordo com a classificação do método de Eberhart e Russell (1966).

Tabela 7. Entradas padronizadas e classificação quanto ao estabilidade de 12 genótipos submetida às Redes Neurais Artificiais baseadas ao método tradicional de Eberhart e Russell (1966).

| Genótipo | Média | Grupo | Adaptabilidade e estabilidade |
|----------|-------|-------|--|
| FM 906 | 68,54 | 6 | Adapt. específica a ambientes desfavoráveis e prev. alta |
| FM 911 | 69,29 | 5 | Adapt. específica a ambientes favoráveis e prev. alta |
| FM 954 | 66,71 | 6 | Adapt. específica a ambientes desfavoráveis e prev. alta |
| TMG 50 | 70,45 | 6 | Adapt. específica a ambientes desfavoráveis e prev. alta |
| TMG 44 | 67,12 | 6 | Adapt. específica a ambientes desfavoráveis e prev. alta |
| TMG 31 | 66,12 | 6 | Adapt. específica a ambientes desfavoráveis e prev. alta |
| IMA 5802 | 72,83 | 5 | Adapt. específica a ambientes favoráveis e prev. alta |
| DP 1536 | 68,25 | 5 | Adapt. específica a ambientes favoráveis e prev. alta |
| DP 555 | 69,09 | 5 | Adapt. específica a ambientes favoráveis e prev. alta |
| DP 1734 | 64,08 | 6 | Adapt. específica a ambientes desfavoráveis e prev. alta |
| BRS 430 | 71,28 | 6 | Adapt. específica a ambientes desfavoráveis e prev. alta |
| BRS 368 | 66,83 | 6 | Adapt. específica a ambientes desfavoráveis e prev. alta |

Com a análise da Tabela 7, observa-se que os genótipos ficaram alocados somente em dois grupos de classificação, ambos indicando previsibilidade alta. Ao falarmos do grupo 5, interpretamos que as cultivares que obtiveram esta classificação são mais promissoras se cultivadas em locais que poderão promover condições ambientais ideais para o desenvolvimento do algodoeiro, portanto, mais passíveis que gerarem um bom retorno em lavouras de alto investimento.

Por outro lado, os genótipos colocados no grupo 6 são promissores a conseguirem se adaptar às adversidades de um ambiente não ideal, portanto, podem ser uma boa escolha para localidades com histórico de safras prejudicadas por algum fator biótico ou abiótico, ou então para lavouras com menor nível de investimento em manejo.

Ao realizarmos uma comparação entre os métodos de análise de adaptabilidade e estabilidade utilizados, encontramos coincidência de 58,3% em termos de adaptabilidade e 41,6% em relação à estabilidade. Utilizando outra ferramenta da inteligência computacional, chamada Lógica Fuzzy, Silveira (2019) a comparou com o método centroide e encontrou

concordância de 33% nas análises relacionadas à características de produtividade. Ao comparar as Redes Neurais Artificiais com o método centroide, Cardoso (2018) observou coincidência de 83,3% entre os resultados.

A crescente concordância entre os métodos tradicionais e os que utilizam inteligência artificial se mostram promissoras para entrar no escopo de ferramentas do melhoramento genético, mas precisam ser melhor afinadas para precisão e confiabilidade dos resultados.

5. CONCLUSÕES

Os genótipos classificados como grupo 5 ou 2 são promissores para o produtor que planeja investir em proporcionar a melhor condição para desenvolvimento do algodoeiro.

Já os classificados em grupo 6 ou 3 são promissores para o produtor que não deseja investir em manejo tecnológico e de alta qualidade.

Encontrou-se coincidência entre os métodos tradicionais de Eberhart e Russell e as Redes Neurais Artificiais de 58,3% em termos de adaptabilidade e 41,6% em relação à estabilidade.

O uso das Redes Neurais Artificiais (RNA's) poder ser uma boa alternativa, visto que possuem a característica de autoaprendizagem, portanto, alto potencial de seu uso no melhoramento de plantas.

6. REFERÊNCIAS

- AMABILE, R. F.; VILELA, M. S.; PEIXOTO, J. R. **Melhoramento de plantas: variabilidade genética, ferramentas e mercado**. Embrapa Cerrados-Livro técnico (INFOTECA-E), 2018.
- ARCINIEGAS-ALARCÓN, Sergio; DIAS, Carlos Tadeu dos Santos. **Análise AMMI com dados imputados em experimentos de interação genótipo x ambiente de algodão**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 44, n. 11, p. 1391-1397, 2009.
- BELTRÃO, NE de M. et al. **Ecofisiologia do algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L. r. *latifolium* Hutch.)**. Beltrão, NE de M.; Oliveira, MIP de. Ecofisiologia das culturas de algodão, amendoim, gergelim, mamona, pinhão-manso e sisal. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, v. 1, p. 65-124, 2011.
- BORÉM, A.; MIRANDA, G. V.; FRITSCHÉ-NETO, R. **Melhoramento de plantas**. Viçosa. [S.l: s.n.], 2017
- 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.
- CAMPBELL, B.T.; JONES, M.A. **Assessment of genotype x environment interactions for yield and fiber quality in cotton performance trials**. Euphytica, v.144, p.69-78, 2005.
- CARDOSO, D. B. O. **Melhoramento genético de algodoeiro colorido: Redes Neurais Artificiais versus métodos convencionais**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2018.
- CARNEIRO, V. Q. Rede neural e lógica Fuzzy aplicadas no melhoramento do feijoeiro. Dissertação de mestrado em agronomia. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2015.
- CARVALHO, L. P. de et al. **Diallel analysis and inbreeding depression in agronomic and technological traits of cotton genotypes**. Bragantia, v. 77, n. 4, p. 527-535, 2018.
- CHAVES, L. J. **Interação de genótipos com ambientes**. In: NASS, L. L.; VALOIS, A. C. C.; MELO, I. S.; VALADARES-INGLIS, M. C. (Ed.). Recursos Genéticos & Melhoramento de Plantas. Rondonópolis: Fundação de Apoio à Pesquisa Agropecuária de Mato Grosso, 2001. p. 673-713.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento Da Safra Brasileira**. Brasília. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em 4 de novembro de 2021.

CRUZ, C. D. **Programa GENES: estatística experimental e matrizes**. Viçosa-MG, 285p.,2006.

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. **GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics**. Acta Scientiarum. v.35, n.3, p.271-276, 2013

EBERHART, SA t; RUSSELL, W. A. **Stability parameters for comparing varieties 1**. Crop science, v. 6, n. 1, p. 36-40, 1966.

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.

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.

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

FERRAZ, R. L. de S. et al. Crescimento, fisiologia e produção do algodoeiro sob efeito do silício via foliar. Universidade Estadual da Paraíba. Campina Grande, 2012.

MAIA, M. C. C.; VELLO, N. A.; ARAÚJO, L. B.; DIAS, C. T. S.; OLIVEIRA, L. C.; ROCHA, M. M. **Interação genótipo x ambiente com uso da análise de componentes principais para populações de soja selecionadas para resistência a insetos**. Revista Brasileira de Biometria, Jaboticabal, v. 31, n. 1, p. 13-27, 2013.

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.

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

REZENDE, W. S. Adaptabilidade e estabilidade: revisão sistemática e aplicação. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2019.

SEVERINO, S. L. et al. **Produto: ALGODÃO-Parte 01: Caracterização e Desafios Tecnológicos**. Série desafios do agronegócio brasileiro (NT3), 2019.

SILVEIRA, V. M. **Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de algodão colorido utilizando lógica Fuzzy**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2019.

TROPICOS. **Missouri Botanical Garden**. 2013.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Cotton and Wool Outlook**. Washington: USDA: FAS, 2021. 2021. Disponível em: <https://www.ers.usda.gov/webdocs/outlooks/101610/cws-21g.pdf?v=9378#:~:text=India%20is%20forecast%20to%20be,spot%20to%20China%20last%20season>. Acesso em: outubro de 2021.

VASCONCELOS, U. A. A. et al. **Diallel analysis in cotton (Gossypium hirsutum L.) for water stress tolerance**. Crop Breeding and Applied Biotechnology, v. 18, n. 1, p. 24-30, 2018.