



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



**IZABELA MOTTA PIMENTEL**

**USO DE REDES NEURAS ARTIFICIAIS NA AVALIAÇÃO DA  
DISSIMILARIDADE DE ALGODOEIRO DE FIBRA COLORIDA**

**UBERLÂNDIA**  
**2021**

IZABELA MOTTA PIMENTEL

**USO DE REDES NEURAS ARTIFICIAIS NA AVALIAÇÃO DA  
DISSIMILARIDADE DE ALGODOEIRO DE FIBRA COLORIDA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos necessários do Curso de graduação em Agronomia para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Hugo César Rodrigues M. Catão

**UBERLÂNDIA  
2021**

## AGRADECIMENTOS

À Deus, pela vida, por iluminar e guiar meus caminhos, por proporcionar todas minhas vivências, sempre me dando força para seguir em frente.

Aos meus pais Newton e Ana Silvia, e ao meu irmão Giovanni, por todo amor e por me apoiarem em todas minhas decisões, me incentivando e por estarem sempre presente.

A Profa. Dra. Larissa Barbosa de Sousa, por ser mais que uma professora acadêmica. Agradeço por sempre acreditar em mim, me incentivar e apoiar em todas as áreas. Esteve presente em todos os momentos, me orientando com paciência e dedicação, muito preocupada também com meu bem-estar, sendo essencial para meu crescimento pessoal e profissional.

Ao Doutorando e amigo Daniel Bonifácio. Agradeço imensamente todo apoio desde o início, pois, sem a sua ajuda, não seria possível a execução desde e de diversos trabalhos durante a graduação. Obrigada por sempre me incentivar e acreditar no meu potencial, sempre otimista e disposto a me ajudar.

Ao Prof. Dr. Hugo César Rodrigues M. Catão por aceitar me orientar nessa reta final do TCC, me apoiando e estando sempre disposto a ajudar.

Ao PROMALG-UFU por fornecer toda ajuda e estrutura necessária para a realização dos trabalhos. Por ser mais que um grupo de pesquisa para mim, pois foi de extrema importância para minha formação pessoal e profissional.

Aos amigos membros do PROMALG, pela união e ajuda na condução dos experimentos. Por tornarem os finais de semana na fazenda e reuniões as 6h da manhã mais divertidas. Agradeço a cada um pelos ensinamentos e paciência ao longo desses anos.

As minhas amigas Patrícia, Gabriela, Julia e Myllena, pela amizade, companheirismo, por me apoiarem e estarem presente desde o início da graduação, na minha vida acadêmica e pessoal, sendo essenciais.

A minha amiga Leticia pela amizade, incentivo, torcida e por ser tão presente, me acompanhando mesmo à distância. Sempre estando ao meu lado independente das situações.

Aos colegas e amigos da graduação pelo apoio e ensinamentos ao longo desses anos.

Aos professores de cada matéria que foram essenciais para minha formação.

A Universidade Federal de Uberlândia por me proporcionar essa oportunidade e pela melhor experiência de graduação nesses anos.

A todos aqueles que de alguma forma contribuíram com a execução deste trabalho e minha formação.

## SUMÁRIO

<b>1.INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2.MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>2</b>
<b>3.RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>7</b>
<b>4.CONCLUSÕES .....</b>	<b>15</b>
<b>5.REFERÊNCIAS .....</b>	<b>15</b>

## RESUMO

O algodoeiro é uma planta que produz a fibra natural mais importante no mundo. A fibra colorida está no nicho de mercado com alto valor agregado. Contudo, esta fibra possui desvantagens quando comparada à branca, por ter menor produção e qualidade inferior produzindo fibras curtas e fracas, desvalorizando o produto na indústria têxtil. Com o propósito de resolver esses problemas, o melhoramento de plantas é o método que pode apresentar maior eficácia. Um dos fatores necessários para que ocorra o melhoramento, é que exista variabilidade genética entre os genitores, de forma que possibilite a recombinação de híbridos superiores. Para verificar a existência de variabilidade genética, uma das técnicas que podem ser utilizadas são as Redes Neurais Artificiais (RNA's). Essa metodologia utiliza a inteligência computacional e o processamento dos dados de forma a simular o cérebro humano, analisando dados não paramétricas e desbalanceados com erros experimentais e falhas de pressuposições. Conforme apresentado, o objetivou-se com este trabalho avaliar o uso Redes Neurais Artificiais (RNA's) por meio do Mapa Auto Organizável de Kohonen para distinguir a dissimilaridade dos genótipos de algodão de fibra colorida. O trabalho foi realizado em condições de campo em Uberlândia-MG na safra 18/19. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos completos casualizados (DBC) com três repetições e 12 genótipos (UFUJP-01, UFUJP-02, UFUJP-05, UFUJP-08, UFUJP-09, UFUJP-10, UFUJP-11, UFUJP-13, UFUJP-16, UFUJP-17, BRS Rubi (RC) e BRS Topázio (TC)). Foram avaliadas sete características: Produtividade de algodão em caroço, Rendimento de fibras, Comprimento de fibra, Uniformidade do comprimento, Índice de fibra curta, Alongamento e Resistência. A dissimilaridade genética foi realizada pela Distância generalizada de Mahalanobis e o agrupamento dos genótipos pelo método hierárquico da Ligação Média entre grupo (UPGMA). Para a inteligência computacional realizou a análise discriminante e o Mapa Auto Organizável de Kohonen utilizando as Redes Neurais Artificiais (RNA's). As análises de variância foram realizadas e analisadas pelo Teste F e médias comparadas por Scott e Knott a 5% de probabilidade, por meio do Programa estatístico (GENES), integrado ao software R e Matlab. O Mapa Auto-Organizável de Kohonen utilizando Redes Neurais Artificiais (RNA's) é eficaz em distinguir a dissimilaridade dos genótipos de algodão de fibra colorida sendo o mais indicado na classificação de grupos.

Palavras-chave: inteligência computacional, algodoeiro, melhoramento genético

## 1. INTRODUÇÃO

O algodoeiro (*Gossypium hirsutum*) é uma planta que produz a fibra natural mais importante no mundo. A China, Índia, Estados Unidos, Brasil e Paquistão são os cinco países de maior produção da pluma, responsáveis por 85% da produção mundial (ABRAPA, 2021).

No cenário mundial, o Brasil ocupa a quarta posição entre os maiores produtores de algodão do mundo (6.786,4 mil toneladas de algodão em caroço, na safra 19/20), sendo uma das principais *commodities* agrícolas do país (CONAB, 2019). Devido à sua extensão territorial e tecnificação agrícola, o Brasil possui grande potencial de crescimento em produtividade e área plantada, alcançando espaço cada vez mais importante neste mercado.

A espécie pode ser cultivada em todas as regiões do país, contudo, a cotonicultura se expandiu principalmente no bioma cerrado, onde possui maior abrangência de condições favoráveis para seu desenvolvimento. Entre os estados produtores, o Mato Grosso se destaca como maior produtor e com a maior área cultivada, ultrapassando 1 milhão de hectares. Já no sudeste, mais especificamente em Minas Gerais foram plantados 35 mil hectares na safra 19/20 (CONAB, 2020).

Também no cerrado, a cotonicultura em pequenas propriedades se expandiu, favorecendo a produção de um diferente nicho de mercado: o algodão colorido. O pigmento natural da fibra varia em tons de vermelho, verde, marrom e amarelado, sendo resultado das propriedades genéticas da planta (DONG HUA UNIVERSITY, 2015). Com o incentivo da Embrapa Algodão e do Programa de Melhoramento Genético do Algodoeiro da Universidade Federal de Uberlândia, as pesquisas para o cultivo do algodão colorido aumentaram, voltadas para uma produção orgânica e agroecológica da pluma, o que fornece matéria-prima para o mercado de linhas sustentáveis (EMBRAPA, 2017).

A fibra colorida atende a um nicho de mercado específico, por possuir um apelo ecológico, sustentável, além de promover a redução do uso de defensivos agrícolas e não utilizar produtos químicos para tingimento, apresentando assim alto valor agregado ao produto. Produzido em menor escala, o algodão de fibra colorida gera emprego e renda para agricultura familiar, principalmente no nordeste do país (OLIVEIRA, 2005).

Apesar das diversas vantagens mencionadas, a pluma colorida apresenta desvantagens quando comparada à branca, por ter menor produção e qualidade inferior produzindo fibras mais curtas e fracas, o que desvaloriza o produto na indústria têxtil (BELTRÃO, 2004).

Com o propósito de resolver esses problemas, o melhoramento de plantas é o método que

pode ser mais eficaz e resgatar características de interesse em termos hereditários, que são propagadas ao longo das gerações (CRUZ et al, 2014). Para isso, no melhoramento genético de plantas são utilizados estudos de diversidade genética, análises de adaptabilidade e estabilidade, predição de valor genético, dentre outros (BARBOSA et al., 2011; CARNEIRO, 2015; NASCIMENTO et al., 2013).

Um dos pré-requisitos para que se realize o melhoramento, é a presença de variabilidade genética entre os genitores, de forma que possibilite a recombinação e se obtenha híbridos superiores, gerando ganhos genéticos devido à maior heterozigose, formando genótipos com características de interesse (LUDKE et al., 2017). Geralmente, a diversidade genética é mensurada por metodologias que utilizam modelos biométricos e métodos de análises de agrupamentos (CRUZ,2018 ; NASCIMENTO, 2013).

Nessa conjuntura, técnicas com algoritimos são utilizadas para facilitar a seleção dos genótipos no melhoramento genético. Uma dessas técnicas são as Redes Neurais Artificiais (RNA's), pois, esta é uma metodologia que visa usar a inteligência computacional e o processamento dos dados de forma a simular o cérebro humano, o qual acumula conhecimento experimental e o torna disponível para uso de classificações, reconhecimento de padrões e estabelecimento de agrupamentos (HAYKIN, 2008).

O uso das RNA's possui vantagens quando comparada aos métodos convencionais, pois usam métodos não paramétricos e conseguem analisar dados desbalanceados com erros experimentais e falhas de pressuposições (CRUZ,2018 ; NASCIMENTO, 2013), além de serem tolerantes a perda de dados (KAVZOGLU, 2003). Uma das classes de RNA's são os Mapas Auto-Organizáveis de Kohonen, o qual possibilita detectar dissimilaridades e reconhecer padrões, para assim, processar os agrupamentos e organizar os dados (CRUZ, 2018).

Conforme apresentado, objetivou-se com este trabalho avaliar o uso de Redes Neurais Artificiais (RNA's) por meio do Mapa Auto Organizável de Kohonen para distinguir a dissimilaridade dos genótipos de algodão de fibra colorida.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi realizado na Fazenda Capim Branco (18°52'S; 48°20'W e 805m de altitude), pertencente à Universidade Federal de Uberlândia, na cidade de Uberlândia-MG na safra

2018/19. 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° C, umidade relativa do ar média de 70% e precipitação pluvial anual média de 1.584 mm por ano.

A área na qual foi realizado o experimento, possui Latossolo Vermelho Escuro distrófico, com 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 ureia (20 kg de N ha<sup>-1</sup>), MAP (40 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>) e K<sub>2</sub>O (30 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>) conforme a necessidade da cultura. Doze genótipos de algodoeiro de fibra colorida foram avaliados, sendo dez provenientes 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 e duas cultivares comerciais: BRS Rubi (RC) e BRS Topázio (TC).

A semeadura foi realizada em dezembro do ano agrícola, com 8 sementes por metro linear, na profundidade de 2 cm, e aos 30 dias após emergência, realizou-se a adubação de cobertura, com 80 kg de N ha<sup>-1</sup>. Para o tratamento de sementes foram utilizados os produtos: Vitavax Thiram<sup>®</sup> (Carboxin + Thiram) (500mL p.c/ 100kg de semente) e Sombrero<sup>®</sup> (Imidacloprido) (450 a 600 mL p.c/ 100kg de semente)

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos completos casualizados (DBC) com três repetições. A parcela experimental constituiu-se 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.

Para a condução das plantas foram realizados todos os manejos culturais necessários e recomendados. Para controle de plantas daninhas foram realizadas capinas com catação manual e controle químico com Dual Gold<sup>®</sup> (S-Metolaclo-ro) (1,5 L p.c. ha<sup>-1</sup>), Staple<sup>®</sup> (Piritiobaque - Sódico) (150 a 500 mL p.c. ha<sup>-1</sup>), Glifosato<sup>®</sup> (Glifosato) (1 a 5 L p.c. ha<sup>-1</sup>), Diuron Nortox<sup>®</sup> (Diuron) (2 a 4 L p.c. ha<sup>-1</sup>) e Gramoxone<sup>®</sup> (Paraquat) (1,5 a 2 L p.c. ha<sup>-1</sup>). Para o controle das pragas: mosca branca (*Bemisia tabaci*), pulgão (*Aphis gossypii*), bicudo do algodoeiro (*Anthonomus grandis*), tripes (*Frankliniella spp.*), percevejo-manchador (*Dysdercus ruficollis*), lagarta das maçãs (*Heliothis virescens*), falsa medideira (*Chrysodeixis includens*), curuquerê (*Alabama argilacea*) e ácaro rajado (*Tetranychus urticae*), foram utilizados os produtos fitossanitários, Mospilan<sup>®</sup> (Acetamiprido) (100g p.c. ha<sup>-1</sup>), Fipronil Nortox<sup>®</sup> (Fipronil) (350 mL p.c. ha<sup>-1</sup>), Malathion<sup>®</sup>

(Malationa) (1 a 2 L p.c. ha<sup>-1</sup>), Engeo pleno S (Tiametoxam + Lamba-Cialotrina) (250 mL p.c. ha<sup>-1</sup>), entre outros. Para garantir bom desenvolvimento foram realizadas adubações foliares com boro.

Para efetuar o controle da altura das plantas, foram realizadas aplicações sequenciais com o regulador de crescimento Cloreto de Mepiquat (1,1-dimethylpiperidinium chloride) durante todo ciclo da cultura. O monitoramento foi efetuado por meio de avaliações visuais periódicas das plantas e as aplicações foram realizadas quando o comprimento médio dos internódios ultrapassasse 3 cm, sendo este obtido pela razão entre a altura da planta e número de nós da haste principal.

As avaliações da produtividade de algodão em caroço (kg ha<sup>-1</sup>) e rendimento de fibras foram realizadas na maturação plena (80% dos capulhos por planta encontram-se abertos) avaliando cinco plantas aleatórias na área útil. As características tecnológicas da fibra foram analisadas no laboratório de Análises de Qualidade de Fibra da Associação Mineira de Produtores de Algodão (AMIPA), sendo mensurado: comprimento de fibra, uniformidade de comprimento, índice de fibras curtas, alongamento e resistência, com auxílio do instrumento HVI (*High Volume Instrument*). O procedimento utilizado para a avaliação de todas as características estão descritos abaixo (IMAMT, 2014):

**Produtividade de algodão em caroço (PROD):** Estimativa obtida a partir da pesagem de todos os capulhos da área útil de cada parcela (kg ha<sup>-1</sup>).

**Rendimento de fibras (RF):** Corresponde à razão entre o peso da pluma e o peso do algodão em caroço de cada área útil, multiplicando por 100 (%).

**Comprimento de fibra (mm) (UHML):** foi considerado o comprimento médio da metade mais longa do feixe de fibras. É classificado como: 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 (%) (UI):** realizou-se a relação entre o comprimento médio e o comprimento médio da metade mais longa do feixe de fibras. Conforme a classificação, o valor para uniformidade de fibra foi classificado como: muito uniforme (maior que 85%), uniforme (83 a 85%), média (80 a 82%), irregular (77 a 79%) e muito irregular (menor que 77%).

**Índice de fibra curta (%) (SFI):** obtido pela porcentagem de fibras com menos de 12 mm por meio do aparelho HVI, sendo este índice determinado pela proporção em porcentagem 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%).

**Alongamento (%) (ELG):** obtido pelo máximo de comprimento de uma amostra de fibra durante uma carga de esforço até seu rompimento, sendo determinado pelo aparelho HVI. A característica é classificada 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 (maior de 7,6%).

**Resistência (gf tex<sup>-1</sup>) (STR)** analisada pela capacidade que a fibra possui em suportar uma carga até romper-se. A resistência à ruptura foi expressa em g tex<sup>-1</sup> (universal) e gf tex<sup>-1</sup> (Brasil), sendo classificada em: muito forte, quando maior que 30 gf tex<sup>-1</sup>; elevado, de 27 a 29 gf tex<sup>-1</sup>; média, de 24 a 27 gf tex<sup>-1</sup>; baixa, de 21-23 gf tex<sup>-1</sup>; e muito baixa, abaixo de 20 gf tex<sup>-1</sup>.

Os dados foram submetidos a análise de variâncias univariada e multivariada e, a partir desta, estimou-se as médias para realizar as análises. A dissimilaridade genética entre os pares de genótipos foi determinada pela Distância generalizada de Mahalanobis (D<sup>2</sup><sub>ii'</sub>), conforme estimador abaixo:

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

Em que:

D<sup>2</sup><sub>ii'</sub>: distância generalizada de Mahalanobis entre os genótipos i e i';

Ψ: matriz de variâncias e covariâncias residuais;

δ': [d<sub>1</sub> d<sub>2</sub> ... d<sub>v</sub>] sendo d<sub>j</sub> = Y<sub>ij</sub> - Y<sub>i'j</sub>;

Y<sub>ij</sub>: média do i-ésimo genótipo em relação à j-ésima variável.

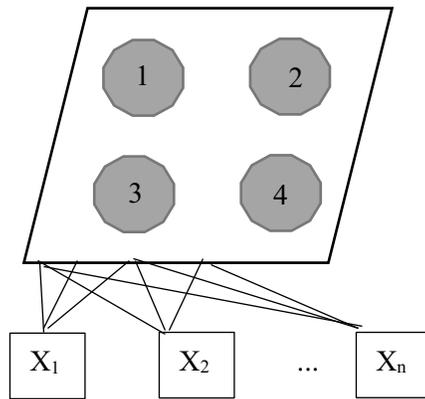
Após a obtenção da matriz de dissimilaridade entre genótipos, realizou-se o agrupamento dos genótipos pelo método hierárquico da Ligação Média entre grupo (UPGMA). Baseado no agrupamento hierárquico de Ligação Média entre Grupo (*Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean* – UPGMA), foi gerado dendrograma de maior similaridade em que a distância entre o genótipo e o grupo formado pelos indivíduos i e j é dado por:

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

Por meio da inteligência computacional realizou-se a análise discriminante e o Mapa Auto-Organizável de Kohonen (SOM) utilizando as Redes Neurais Artificiais (RNA's). A arquitetura da SOM é do tipo *feedforward* com uma camada de entrada e uma de saída, denominada mapa topológico sendo dividido em três etapas (CRUZ;NASCIMENTO, 2018):

**1º Etapa:** para a definição do mapa topológico e estabelecimento dos pesos aleatórios,

utilizou-se para a formação da SOM três neurônios em duas dimensões (Figura 1) (três linhas e 3 colunas), 2000 épocas e padrão de vizinhança de raio=2, a função de ativação *dist* (distância Euclidiana), e topologia do tipo hexágonos. Posteriormente, iniciou-se os pesos sinápticos e um vetor de entrada  $X_i$ .



**Figura 1:** Arquitetura e topologia de uma rede neural SOM em duas dimensões (adaptado de Cruz; Nascimento, 2018).

**2º Etapa:** dado os valores de entrada foi calculada a medida da distância em competição sendo estabelecido o neurônio vencedor como o de menor distância entre ele; os dados de entrada dos neurônios vizinhos tiveram seus pesos ajustados em relação a entrada, para determinar sua vizinhança pela taxa de aprendizado ( $\eta$ ), sendo determinado pela seguinte expressão:

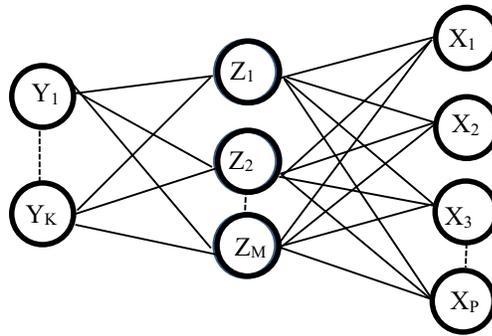
$$i. w^{i+1}(\text{vencedor}) = W^i + (\text{vencedor})^{+\eta(X_i - W^1)}(\text{vencedor})$$

$$ii. w^{i+1}(\text{vizinhança}) = W^i + (\text{vizinhança})^{+f(x)\eta(X_i - W^1)}(\text{vizinhança})$$

$\eta$  = Medida da taxa de aprendizado;  $w$  = peso dos neurônios;  $x_i$  = Vetor de entrada;  $f(x)$  = metade da taxa de aprendizado.

**3º Etapa:** Cada entrada participou da competição, finalizando uma época e foi retomado a etapa 2 até que não exista grande mudanças entre os pesos de entrada e os atualizados.

A análise discriminante foi realizada por meio de RNAs utilizando uma rede neural do tipo *Multilayer Perceptron* (MLP) formada por duas camadas contendo entre dois e cinco neurônios em cada camada, utilizando a função de ativação logarítmica. O algoritmo de treinamento escolhido foi o Trainlm (*backpropagation* de Levenberg-Marquardt). O ciclo de treinamento foi fixado em 5000 vezes e uma taxa de erro de 0,01. A rede teve 1000 observações e separou 80% dos dados para treinamento e 20% para validação (Figura 2).



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

As análises de variância foram realizadas e analisadas pelo Teste F e médias comparadas por Scott e Knott 5% de probabilidade por meio do Programa estatístico (GENES), integrado ao software R e Matlab (CRUZ, 2016).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com o teste F, houve diferença significativa entre os 12 genótipos de algodoeiro, para todas as características avaliadas, com exceção da uniformidade de fibra, confirmando assim, a divergência genética entre os genótipos (Tabela 1).

**Tabela 1.** Significância dos quadrados médios e coeficientes de variação experimental para as sete características avaliadas, em 12 genótipos de algodoeiro na safra 2018/19.

FV	GL	Quadrados médios						
		UHML	UI	SFI	STR	ELG	PROD	RF
Blocos	2	0,41	0,46	2,53	1,48	0,49	195986,47	1,75
Genótipo	11	10,39*	4,71 <sup>ns</sup>	11,89**	0,21**	1,32**	1088313,56**	9,33*
Resíduo	22	1,45	2,98	2,67	2,63	0,39	277098,73	3,62
Média		25,16	76,87	15,31	22,72	8,20	2732,06	28,25
CV (%)		4,79	2,24	10,67	7,14	7,66	19,26	6,74

\*\*,\*Significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente pelo teste F; <sup>ns</sup>: não significativo; FV: Fontes de variação; GL: Graus de liberdade; UHML: Comprimento de fibra (mm); UI: Uniformidade de fibra (%); STF: Índice de fibras curtas (%); STR: Resistência da fibra (gf tex<sup>-1</sup>); ELGL: Alongamento (%); PROD: Produtividade de algodão em caroço (kg ha<sup>-1</sup>); RF: Rendimento de Fibra (%); CV: Coeficiente de variação.

Para indicar a precisão experimental dos resultados, é utilizado o coeficiente de variação (CV). Ao analisar trabalhos realizados na cultura do algodoeiro, é possível encontrar valores de

CV até 30% (GILIO et al., 2017; CARVALHO et al., 2015) , sendo que valores que ultrapassam este limite são um indicativo de alto desvio dos dados, tornando-os imprecisos e indesejáveis.

Em trabalhos de qualidade de fibra do algodoeiro, Miranda (2019) obteve coeficiente de variação de 0,48 a 7,05%; já Cardoso (2018) verificaram percentuais entre 0,88 a 10,67%; Medeiros (2021) de 1,21% a 16,55 % e Silva (2018) coeficientes de variação com 0,7 a 9,6%, corroborando com os verificados desta pesquisa. Neste aspecto, observou-se que os coeficientes de variação deste trabalho estão dentro da faixa encontrada para a cultura do algodoeiro, variando de 2,24 a 10,67% para características de qualidade da fibra e 19,26% para a produtividade de algodão em caroço.

O resultado de produtividade do CV é considerado aceitável, por se tratar de uma característica quantitativa e influenciada pelo ambiente. Esses resultados corroboram com os apresentados por Borin et al. (2017), que verificaram CV de 18,00% ao analisar a produtividade do algodoeiro adensado em segunda safra em resposta à adubação nitrogenada e potássica. Souza (2019) também relatou CV de 18,19% ao avaliar a densidade de plantas no desenvolvimento e produtividade de algodão de fibra colorida.

As médias das características de produtividade e rendimento evidenciam a presença de variabilidade genética entre os genótipos avaliados, separando-os em grupos. No geral os genótipos comerciais BRS-Rubi e BRS-Topázio possuem os melhores valores para a maioria das características avaliadas (Tabela 2).

**Tabela 2.** Média das sete características avaliadas, em 12 genótipos de algodoeiro na safra 18/19.

Genótipo	UHML	UI	SFI	SFR	ELG	PROD	RF
UFUJP-01	25,24 b	79,32 a	13,18 b	23,00 b	8,17 b	2581,5 c	29,40 a
UFUJP-02	24,42 b	77,36 a	15,57 a	22,18 b	7,43 b	2069,7 c	26,73 a
UFUJP-05	23,46 b	76,35 a	17,93 a	20,48 b	9,14 a	2496,2 c	28,14 a
UFUJP-08	23,06 b	76,70 a	17,61 a	20,32 b	8,95 a	2295,7 c	27,54 a
UFUJP-09	23,82 b	76,22 a	16,24 a	21,64 b	9,15 a	2778,3 c	27,57 a
UFUJP-10	25,61 b	76,09 a	15,97 a	23,13 b	7,70 b	2231,5 c	27,83 a
UFUJP-11	24,36 b	77,00 a	15,74 a	20,48 b	8,78 a	2350,4 c	26,57 a
UFUJP-13	24,91 b	76,13 a	14,71 a	23,79 b	7,66 b	2478,4 c	28,20 a
UFUJP-16	24,14 b	75,6 a	14,88 a	22,68 b	8,14 b	2969,4 c	28,78 a
UFUJP-17	24,21 b	75,16 a	17,56 a	21,18 b	8,35 a	3310,4 b	25,54 a
BRS-RUBI	28,21 a	79,32 a	12,57 b	26,99 b	7,51 b	4275,9 a	31,29 a
BRS-TOPÁZIO	29,32 a	77,67 a	11,82 b	26,86 b	7,48 b	2946,8 c	31,37 a

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5 % de probabilidade. UHML: Comprimento de fibra (mm); UI: Uniformidade de fibra (%); STF: Índice de fibras curtas (%); STR: Resistência da

fibra (gf tex<sup>-1</sup>); ELG: Alongamento (%); PROD: Produtividade de algodão em caroço (kg ha<sup>-1</sup>); RF: Rendimento de Fibra (%); CV: Coeficiente de variação.

Para as características de uniformidade de fibra (UF), resistência da fibra (RF) e rendimento da fibra (RNF) não foram observadas diferenças significativas entre os genótipos avaliados. Para UF os valores se enquadram na classificação muito irregular e irregular com valores variando de 75,16 a 79,32%. Esses valores são abaixo do esperado para a indústria têxtil, pois quanto menor este valor de UF, menos uniforme é o comprimento das fibras, podendo afetar o processo de fiação.

Para a RF os valores se enquadram nas classificações baixa e média, variando de 20,32 a 26,99 g tex<sup>-1</sup>, não se apresentando padrão industrial. Quanto maior a resistência da fibra maior o seu valor comercial e ganho de qualidade (CORDÃO SOBRINHO et al. 2015; ZHAO et al. 2012).

A característica de comprimento de fibra é importante na determinação do preço no mercado cotonicultor. Quanto maior o valor do UHML, menor será o número de torções no processo industrial, incrementando qualidade para formar tecidos mais volumosos e macios no mercado têxtil (LANA; RIBAS; CHANSELME, 2014).

Neste trabalho, foram formados dois grupos para o caractere UHML. Os genótipos comerciais obtiveram fibras de comprimento longo pois suas médias (28,21 e 29,32 mm) estão acima de 27,94 mm. Albuquerque (2017) encontrou para esse caractere valores de 29,82 mm para a BRS Topázio e 22,17 mm para BRS Rubi. Os genótipos UFUJP-02, UFUJP-05, UFUJP-08, UFUJP-09, UFUJP-11, UFUJP-13, e UFUJP-16 foram classificadas como fibras curtas (entre 23,06 a 24,91 mm) e UFUJP-01 e UFUJP-10 foram classificadas como fibras médias (25,24 e 25,61 mm).

Na avaliação do índice de fibras curtas, os genótipos UFUJP-05, UFUJP-08, UFUJP-17 são classificados com o índice muito alto (>17%). Na classificação média, os genótipos UFUJP-01, BRS-Rubi, BRS-Topázio possuem porcentagens que variam entre 11,82 a 13,18%. Os demais genótipos se classificam como alto, com valores percentuais entre 14,71 a 17,93%. O índice de fibras curtas sofre interferência das condições de cultivo e disponibilidade hídrica, além do fator genético (BRADOW; DAVIDONIS, 2000)

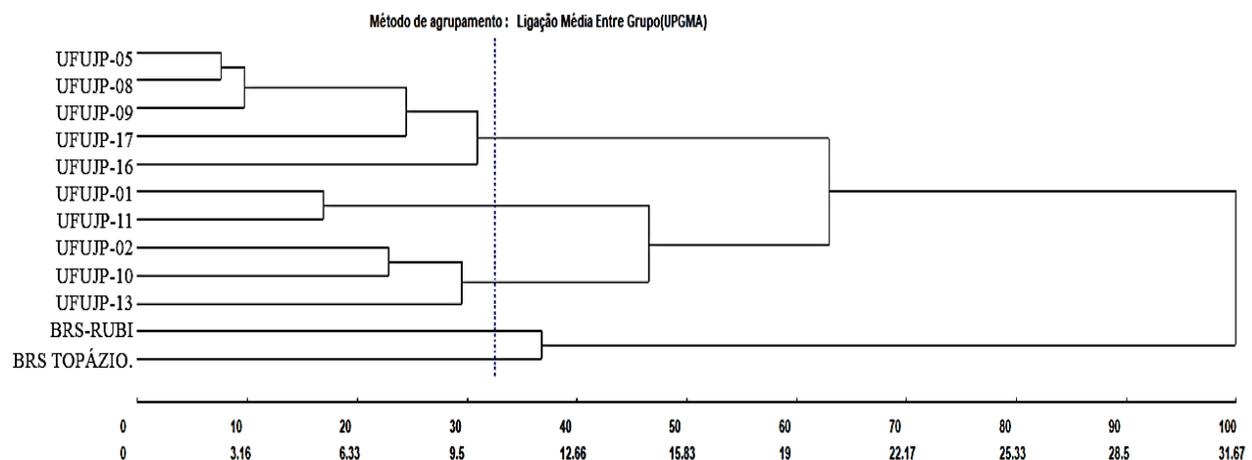
Para o mercado têxtil, quanto menor for o índice de fibras curtas, melhor é o processo para a fiação. Alguns contratos exigem valores específicos para esse parâmetro, e valores acima de 10% são desconsiderados para a indústria (LANA et al. 2014). Quanto menor o índice de fibras curtas, menor o risco de ruptura do fio, sendo eficiente no processo de torção na fabricação dos fios (CORDÃO SOBRINHO et al., 2015).

Para alongamento (ELG), os genótipos UFUJP-02, BRS-Rubi e BRS-Topázio foram classificados como alto, e os demais genótipos classificados como muito alto, com porcentagens acima de 7,6%. Medeiros (2021) observou em seu trabalho que as cultivares de fibra colorida obtiveram maiores valores deste caractere, quando comparadas com os valores dos genitores de fibra branca, pois isso se deve pela maior deposição de cera nas fibras coloridas (BELLETTINI et al.,2011).

O alongamento é uma característica importante a ser levada em consideração no momento de seleção, pois a cera lubrifica as fibras, o que diminui o atrito com o maquinário industrial, proporcionando elasticidade, e evita, assim, que ocorra rompimento dos fios (MEDEIROS, 2021). Albuquerque (2017) encontrou valores inferiores, entre 4,5 a 7,0%, sendo superado por todos genótipos desse trabalho.

Os genótipos que se adaptaram melhor em relação as condições ambientais e obtiveram maiores produtividade foram BRS-Rubi com 4.275,9 kg ha<sup>-1</sup>, seguido de UFUJP-17 com 3.310,4 kg ha<sup>-1</sup>. Cardoso (2018), encontrou valores de produtividade muito próximos no ano agrícola 2016/17, corroborando com os observados nesse trabalho. Os valores estão dentro da média de produtividade do Brasil na safra 20/21, que foi de 3.579,00 kg/ha (CONAB,2021)

Pelo método de agrupamento UPGMA, o corte no dendrograma foi realizado considerando 34% de dissimilaridade, separando os genótipos em 5 grupos (Figura 3). O critério foi definido considerando a mudança abrupta de nível no dendrograma (CRUZ; FERREIRA; PESSONI, 2011).



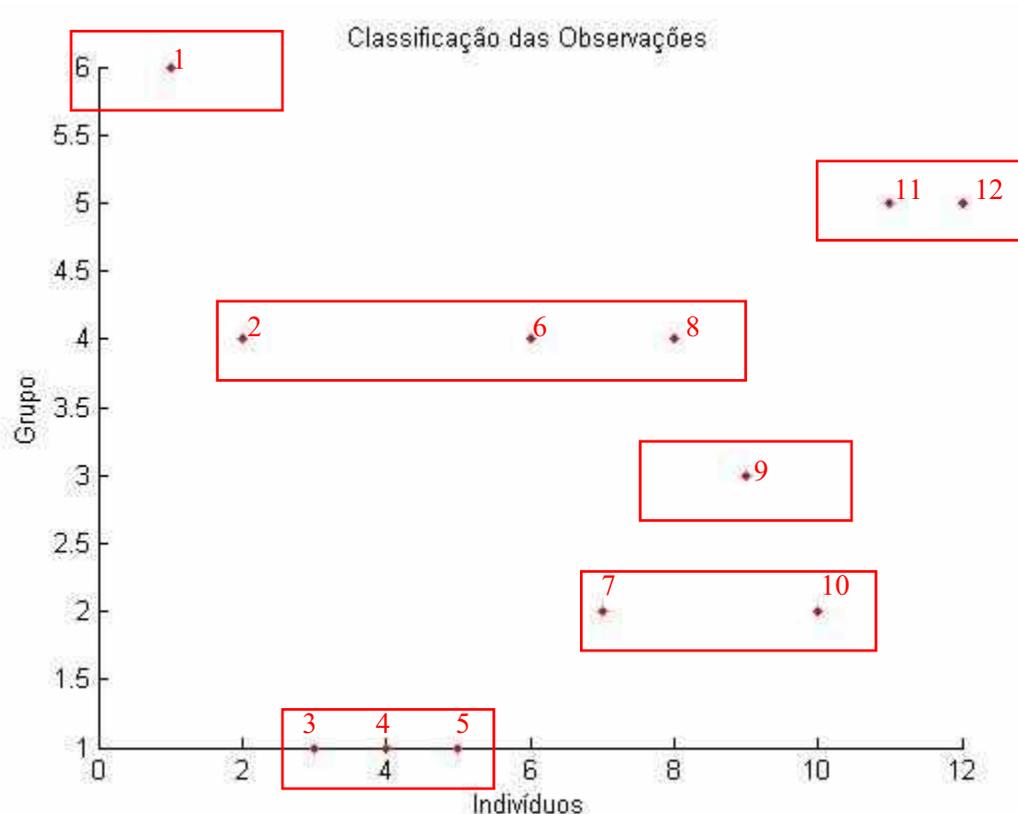
**Figura 3.** Dendrograma da divergência genética entre 12 genótipos de algodoeiro de fibra colorida, obtido pelo método hierárquico de ligação média “UPGMA”, com base na distância generalizada de Mahalanobis ( $D^2$ ).

Os resultados que podem ser verificados no dendrograma demonstram a dissimilaridade entre os genótipos, constatando a possibilidade de conseguir sucesso em prováveis hibridações. O grupo I foi formado por cinco dos doze genótipos analisados, reunindo UFUJP-05, UFUJP-08, UFUJP-09, UFUJP-16 e UFUJP-17. O grupo II reuniu os genótipos UFUJP-01 e UFUJP-11. O grupo III formado pelos genótipos UFUJP-02, UFUJP-10 e UFUJP-13. O grupo IV pela cultivar BRS-RUBI e por último, o grupo V pela BRS-TOPÁZIO. Fica evidenciando que entre os grupos, é possível realizar cruzamentos para se obter maior heterose na produção de híbridos.

O método de Mahalanobis é muito utilizado no melhoramento genético para mostrar a dissimilaridade, porém, para sua acurácia é necessário obter distribuição multinormal e homogeneidade na matriz de covariância residual (ALBUQUERQUE, 2017).

Para suprir essas limitações encontradas no método convencional, o uso da inteligência computacional é uma opção, pois este método apresenta desempenho superior (BRAGA et al., 2000). As redes neurais artificiais (RNA's) são compostas por um modelo que simula o raciocínio de cérebro humano, adquire o aprendizado pelas experiências, sem possuir pressuposições (CRUZ; NASCIMENTO, 2018).

Pelo método da análise discriminante com dispersão gráfica utilizando as RNA's, formam um grupo a mais que o agrupamento UPGMA (Figura 4), sendo possível verificar a superioridade na formação dos grupos, em relação ao método convencional.



**Figura 4.** Mapa Auto-organizável de Kohonen, classificação das observações dos agrupamentos dos genótipos nas classes formadas por meio de rede neural artificial. Genótipos: 1=UFUJP-01; 2=UFUJP-02; 3=UFUJP-05; 4=UFUJP-08; 5=UFUJP-09; 6=UFUJP-10; 7=UFUJP-11; 8=UFUJP-13; 9=UFUJP-16; 10=UFUJP-17; 11=BRS RUBI; 12=BRS TOPÁZIO.

Os genótipos UFUJP-05, UFUJP-08 e UFUJP-09 permaneceram no mesmo grupo, os quais possuem as maiores médias de alongamento, média produtividade e os menores valores de comprimento de fibra. Os genótipos UFUJP-11 e UFUJP-17, estavam em grupos distintos pelo agrupamento do dendrograma. Porém, se uniram no mesmo agrupamento por meio das RNA's, possivelmente por obterem média de rendimento e comprimento de fibra similares, entretanto com as médias das demais características distantes.

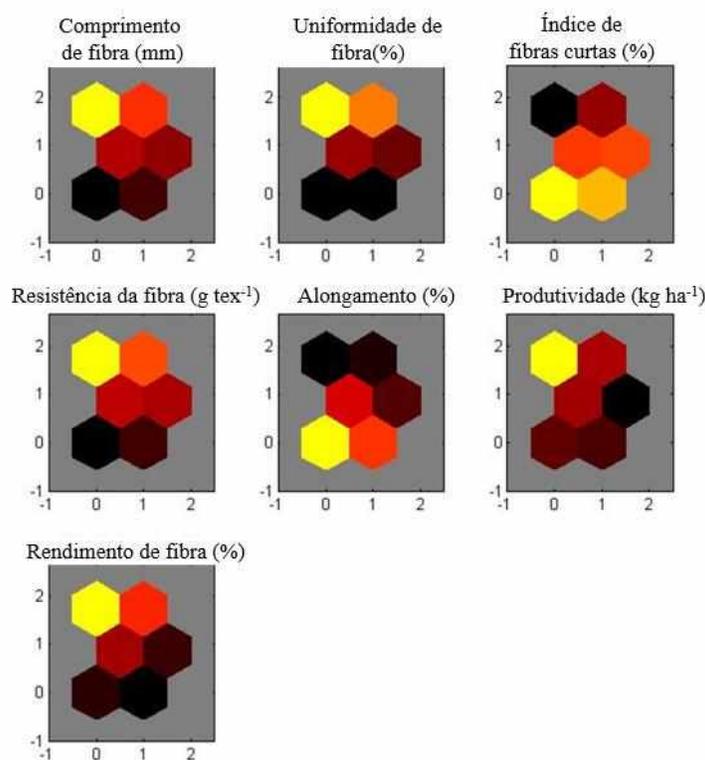
O genótipo UFUJP-16, passou a ficar isolado pelo agrupamento nas RNA's, diferente do que foi observado no dendrograma. Este não se destaca para nenhuma das características avaliadas, possuindo valores intermediários que não se aproximam dos demais genótipos.

Os genótipos UFUJP-02, UFUJP-10 e UFUJP-13 foram agrupados pelas RNA's, porém anteriormente apenas os genótipos UFUJP-02 e UFUJP-13 estavam agrupados pelo método hierárquico UPGMA obtido distância generalizada de Mahalanobis. Estes genótipos (UFUJP-02 e

UFUJP-13) possuem a mesma classificação do Índice de Fibras Curtas (IFC). O genótipo UFUJP-02 também possui a menor produtividade. O genótipo UFUJP-10, que foi agrupado aos demais genótipos possui valores bem próximos para todas as características avaliadas.

Utilizando as RNA's formaram-se seis grupos. Os genótipos BRS-Rubi e BRS-Topázio se agruparam, diferente do dendrograma, onde ambos estavam em grupos distintos. Por serem genótipos comerciais da EMBRAPA, possivelmente podem existir similaridade genética entre eles, além disso também foram os genótipos que obtiveram as melhores médias para a maioria das características avaliadas. O genótipo UFUJP-01 obteve as melhores médias para comprimento, uniformidade da fibra e alongamento, o que possivelmente fez com que fosse isolado.

Na figura 5 é possível verificar as características e seus pesos na ativação de cada neurônio da SOM.

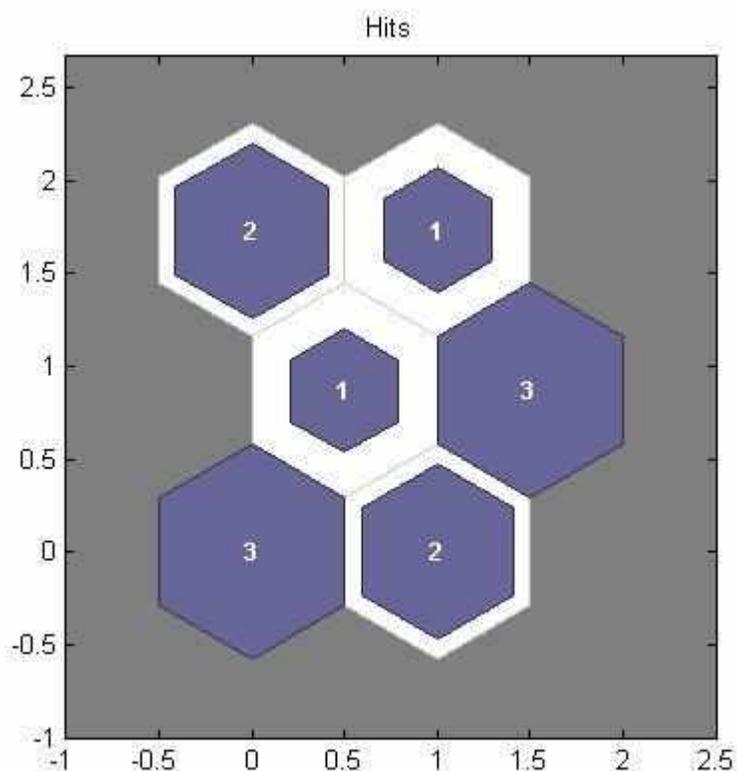


**Figura 5.** Peso das variáveis de entrada nos neurônios da rede em que cores mais claras representam um efeito maior de uma variável em uma determinada rede neural para definir o cluster.

As cores claras caracterizam maior proximidade entre os neurônios. Já as cores escuras representam distancias maiores, sendo assim, é possível notar que a maioria das características

com exceção de alongamento e produtividade contribuíram para a formação do grupo com BRS Rubi e BRS Topázio. A uniformidade da fibra, índice de fibras curtas e alongamento tiveram correlação entre si, pois possuem o mesmo padrão de distâncias, representada pelas mesmas cores. Já a uniformidade de fibra e a resistência da fibra são antagonistas.

Por meio do aprendizado competitivo, o método é capaz de ajustar pesos para cada variável entre as conexões de neurônios, separando os grupos por similaridade (CRUZ; NASCIMENTO, 2018). Este também possibilita a distinção e classificação entre os genótipos trabalhados por distanciamento de neurônios, assim, quanto mais próximo os neurônios estiverem, maior a afinidade entre eles (Figura 6).



**Figura 6.** Mapa Auto-Organizável de Kohonen para nove classes de classificação, formadas por meio de rede neural artificial.

Os agrupamentos nas RNA's não são afetados por erros experimentais, por não serem baseados apenas nas médias e variâncias adquiridas, ampliam o número de observações e reduzindo a taxa de desvios. O Mapa Auto-Organizáveis de Kohonen (SOM) ao utilizar as RNA's consegue detectar padrões e organizá-los pelo aprendizado competitivo, que simula as conexões de neurônios e córtex cerebral por proximidades (BRAGA, 2011. CRUZ; NASCIMENTO, 2018).

As RNA's detectam diferenças e possibilitam a reorganização dos genótipos de forma mais simplificada. Ainda separa os genótipos em maior número de grupos quando comparado ao método tradicional UPGMA.

#### 4. CONCLUSÕES

O uso de Redes Neurais Artificiais (RNA's) por meio do Mapa Auto-Organizável de Kohonen é eficaz para distinguir a dissimilaridade dos genótipos de algodão de fibra colorida sendo o mais indicado na classificação de grupos.

#### 5. REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, R. R. S. **Seleção de genótipos de algodoeiro de fibra colorida para as condições da região semiárida do Nordeste**. 2017. 63f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias - PPGCA) - Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2017.

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE ALGODÃO**. Estatísticas. Disponível em: <http://www.abrapa.cp.br/estatisticas/Paginas/Algodao-no-Mundo.aspx>. Acesso em: 16 abr. 2021

BARBOSA, C. D.; VIANA, A. P.; SILVA, S.; QUINTAL, R.; PEREIRA, M. G. Artificial neural network analysis of genetic diversity in *Carica papaya* L. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, 11(3), p. 224-231, 2011.

BELLETTINI, S. et al. **Comportamento a campo de cultivares de algodão colorido no norte do paraná**. 8<sup>o</sup> Congresso Brasileiro de Algodão & I Cotton Expo 2011. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/910894/3/FIT069Poster.225.pdf>>. Acesso em: 12/03/2021.

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-Documents (INFOTECA-E), 2004

BORIN, ANA LUIZA DIAS COELHO et al. Produtividade do algodoeiro adensado em

segunda safra em resposta à adubação nitrogenada e potássica. **Revista Ceres**, v. 64, n. 6, p. 622-630, 2017.

BRADOW, J. M.; DAVIDONIS, G. H. Quantization of fiber quality and the cotton productionprocessing interface: a physiologist's perspective. **The Journal of Cotton Science**, v.4, p.34-64, 2000.

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

BRAGA, A. P.; CARVALHP, A. P. L. F.; LUMEDIR, T. B. **Redes neurais artificiais:teoria e aplicações**. Rio de Janeiro: LTC, vol. 1, 2000. 250p

CARDOSO, D. B. O. **Melhoramento genético de algodoeiro colorido: Redes Neurais Artificiais versus métodos convencionais**. 2018. 99 p il. Dissertação (Mestrado em agronomia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018.

CARNEIRO, V. Q. **Rede neural e lógica fuzzy aplicadas no melhoramento do feijoeiro**. 2015. 91f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2015

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, v. 45, p. 598-605, 2015. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr2013023>

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos - Safra 2019/20, n.1 - Primeiro levantamento Brasília**. v. 7; p. 1-114, outubro 2019.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos | v.8 – safra 2020/21, nº3 – terceiro levantamento | dezembro 2020**

CORDÃO SOBRINHO, F. P.; GUERRA, H. O. C.; ARAUJO, W. P.; PEREIRA, J. R.; ZONTA, J. H.; BEZERRA, J. R. C. Fiber quality of upland cotton under diferente irrigation

depths. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.19, n.11, p.1057-1063, 2015.

CRUZ, C. D.; NASCIMENTO M. **Inteligência computacional aplicada ao melhoramento genético**. Editora Viçosa: UFV, 2018. p 310.

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

CRUZ, C. D. **Genes Software: extended and integrated with the R, Matlab and Selegen**. Acta Scientiarum Agronomy. Maringá, v.38, p.547-552, 2016. DOI: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v38i3.32629>"

CRUZ, C.D., FERREIRA, F.M., PESSONI, L.A. **Biometria aplicada ao estudo da diversidade genética**. Visconde do Rio Branco, MG. Suprema, p. 620, 2011.

SILVA, EDGLEY SOARES et al. Adubação foliar nitrogenada e boratada na qualidade da fibra do algodão colorido (*Gossypium hirsutum* L.). **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, Brasil, v. 22, jun. 2018. ISSN 2446-8053. Disponível em: <https://pap.emnuvens.com>

OLIVEIRA, J. B.; SEVERIANO FILHO, C. **Considerações sobre a produção do algodão colorido e a importância do Consórcio Natural Fashion como último elo da cadeia produtiva**. In: Anais do Congresso Brasileiro de Custos-ABC. 2005.

DONG HUA UNIVERSITY. **Natural Textile Fibers – Vegetable Fibers. Textiles and Fashion - Materials, Design and Technology**. The Textile Institute. Woodhead Publishing Series in Textiles: Number 126. 2015, p. 29-54.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA E AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Cadeia produtiva do algodão orgânico debate estratégias para aumentar a produção**. 2017. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/28873222/cadeia-produtiva-doalgodao-organico-debate-estrategias-para-aumentar-producao>. Acesso em: 02 abr. 2021.

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.

HAYKIN, S. **Neural Networks and Learning Machines** (3rd ed). Hamilton: Pearson – Prentice Hall, 2008.

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

KAVZOGLU, T.; MATHER, P. The use of backpropagation artificial neural networks in land cover classification. **International Journal of Remote Sensing**, 24(23), 49074938, 2003.

LANA, V.; RIBAS, P. V.; CHANSELME, J-L. Classificação do algodão. In: Chanselme, J-L. **Manual de beneficiamento**. Cuiabá: AMPA; IMAmt, 2014, p. 301-313

LUDKE, W H.; ANDRADE, A. C. B.; VOLPATO, L.; ALMEIDA, D. P.; OLIVEIRA, I. C. M.; PAIVA, J. T.; SILVA, M. J.; DEL CONTE, M. V.; SILVA, T. C.; ALMEIDA, V. C.; PINTO, V. B. **Desafios biométricos no melhoramento genético**. 1. ed. Viçosa, MG: GenMelhor. 2017.

MEDEIROS, L. A. **Seleção de genitores de algodoeiro colorido visando qualidade de fibra e potencial produtivo**. 2021. 70f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2021.

MIRANDA, M. C. C. **Diversidade genética entre genótipos de algodoeiro visando ampliação da variabilidade**. 2019. 59 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.

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

SOUZA, G. S. **Densidade de plantas no desenvolvimento e produtividade de fibra de**

**algodão colorido.** (2019). 24 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia)  
– Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.

ZHAO, W.; LI, J.; LI, Y.; YIN, J. Effects of drip system uniformity on yield and quality of Chinese cabbage heads. **Agricultural Water Management**, v.110, p.118–128, 2012.