



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



JÚLIA PEIXOTO FAGUNDES

**A INTELIGÊNCIA COMPUTACIONAL DISCRIMINA GENÓTIPOS DE ALFACE
COM SEMENTES TERMOINIBIDAS EM DIFERENTES PERÍODOS DE
ARMAZENAMENTO?**

UBERLÂNDIA-MG

2024

JÚLIA PEIXOTO FAGUNDES

**A INTELIGÊNCIA COMPUTACIONAL DISCRIMINA GENÓTIPOS DE ALFACE
COM SEMENTES TERMOINIBIDAS EM DIFERENTES PERÍODOS DE
ARMAZENAMENTO?**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Hugo Cesar R. M. Catão

Coorientador: Dr. Adílio de Sá Júnior

UBERLÂNDIA-MG

2024

JÚLIA PEIXOTO FAGUNDES

**A INTELIGÊNCIA COMPUTACIONAL DISCRIMINA GENÓTIPOS DE ALFACE
COM SEMENTES TERMOINIBIDAS EM DIFERENTES PERÍODOS DE
ARMAZENAMENTO?**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Instituto de Ciências Agrárias da
Universidade Federal de Uberlândia, como
parte dos requisitos para obtenção do título de
Bacharel em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Hugo Cesar R. M. Catão

Coorientador: Dr. Adílio de Sá Júnior

Banca de avaliação:

Prof. Dr. Hugo Cesar Rodrigues Moreira Catão
Orientador

Eng. Agrônoma Brenda Santos Pontes
Membro da Banca

Eng. Agrônoma Caroline Salles de Miranda Motta
Membro da Banca

UBERLÂNDIA-MG

2024

RESUMO

A termoinibição da germinação de sementes de alface causam perdas importantes para os produtores, os quais não dispõem de cultivares comerciais termotolerantes. Um dos entraves tem sido a escassez de técnicas otimizadoras capazes de discriminar genótipos termotolerantes e termossensíveis com eficiência. Objetiva-se com este trabalho utilizar a inteligência computacional para discriminar genótipos de alface que apresentem sementes termoinibidas em diferentes períodos de armazenamento. Foram utilizadas sementes de dez linhagens do Programa de Melhoramento Genético de Alface Biofortificada da Universidade Federal de Uberlândia, além dos genótipos Everglades (tolerante a termoinibição) e Grand Rapids (sensível a termoinibição). Inicialmente foi realizado o condicionamento fisiológico em solução aerada de polietilenoglicol nas sementes. Uma parte foi analisada quanto à tolerância a termoinibição, por meio dos testes de primeira contagem, germinação e índice de velocidade de germinação a 20 °C e 35 °C. As sementes foram analisadas imediatamente após o condicionamento e aos trinta e sessenta dias de armazenamento. Para isso, foram realizados os testes de teor de água, primeira e última contagem de germinação e índice de velocidade de germinação e tetrazólio em sementes remanescentes do teste de germinação. As sementes foram submetidas às temperaturas de 20 °C e 35 °C. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com quatro repetições. A análise estatística dos dados foi em esquema fatorial 12×2 (12 genótipos x 2 temperaturas de germinação) em cada temperatura e período de armazenamento. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste Scott-Knott, a 5% de probabilidade. Foi realizada análise discriminante e o Mapa de Auto-Organização de Kohonen por Redes Neurais Artificiais, realizados por meio de inteligência computacional. As redes neurais são eficientes na identificação de dissimilaridades de genótipos de alface e as organizam com relação à tolerância à termoinibição das sementes após condicionamento fisiológico e armazenamento.

Palavras-chave: *Lactuca sativa* (L.); termodormência; priming; redes neurais; armazenabilidade.

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO | 6 |
| 2. MATERIAL E MÉTODOS | 7 |
| 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 10 |
| 4. CONCLUSÃO..... | 21 |
| REFERÊNCIAS..... | 21 |

1. INTRODUÇÃO

Segundo pesquisadores do Cepea (Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada), em 2023, a área de frutas e hortaliças cultivada no Brasil voltou ao patamar pré-pandemia de 2019, depois de uma retração no mercado no período pandêmico, sobretudo de culturas que destinam sua produção ao mercado *in natura* (Cepea, 2023).

Na safra de verão 22/23, o clima quente aqueceu a demanda por folhosas (HFBrasil, 2023), contudo, a alface enfrenta dificuldades de adaptação em locais com altas temperaturas (Aquino *et al.*, 2014) causando prejuízos financeiros (Blind; Silva-Filho, 2015). Já na safra de verão 2023/24, a área ainda deve crescer 7,5% em relação à de 2022/23, tendo em vista o maior investimento em material genético resistente ao provável clima quente e com chuvas mais frequentes, devido à influência do El Niño (HFBrasil, 2023).

Quando as sementes são expostas a temperaturas elevadas durante a embebição ou armazenamento, sua germinação é significativamente prejudicada (Catão *et al.*, 2014; Catão *et al.*, 2016; Catão *et al.*, 2018). Essa inibição pode ser temporária (termoinibição) ou completa (termodormência), em razão do enrijecimento do endosperma que acaba restringindo a protrusão radicular (Nascimento *et al.*, 2012).

É conhecido que a tolerância à termoinibição existe em sementes de espécies do gênero *Lactuca*. Alguns estudos demonstraram variabilidade genética para tolerância à germinação em temperaturas de 35 °C para sementes da cultivar Everglades (*Lactuca sativa* L.) (Nascimento *et al.*, 2012; Catão *et al.*, 2014) e do acesso de *Lactuca serriola* UC96US23 (Argyris *et al.*, 2011; Yoong *et al.*, 2016). Contudo, nos mais diversos programas de melhoramento genético ainda não foram obtidos genótipos de alface com sementes tolerantes à termoinibição por não haver registros no RNC/MAPA (Registro Nacional de Cultivares), tornando-se uma demanda real.

Para contornar este problema, métodos como o condicionamento fisiológico das sementes, tem sido utilizado para aumentar o sucesso da germinação e estabelecimento de mudas sob condições adversas. Essa técnica consiste em hidratar as sementes apenas o suficiente para possibilitar os processos bioquímicos iniciais essenciais para a germinação, mas não o suficiente para promover a protrusão radicular (Alvarado-Lopez *et al.*, 2014). Portanto, torna-se necessário saber quando ocorre a ativação metabólica adequada, o momento de cessar o fornecimento de água e a realização da secagem (Marcos-Filho, 2015). Está é uma técnica trabalhosa e que não permite que as sementes sejam armazenadas por longos períodos.

Diante deste contexto, sugere-se um aprimoramento das técnicas capazes de selecionar e descartar sementes de alface que sejam termotolerantes e termosensíveis. Uma das principais dificuldades tem sido encontrar um método estatístico mais adequado para avaliar múltiplas características em sementes com diferentes níveis de termoinibição. Uma forma de viabilizar esse tipo de análise é por meio da Inteligência Computacional, com destaque para as Redes Neurais Artificiais (RNA), que mimetizam o funcionamento dos neurônios biológicos, adquirindo conhecimento e aprendendo com os erros (Cruz; Nascimento, 2018).

Uma vertente das RNA's são os Mapas Auto-Organizáveis de Kohonen (SOM), que simulam o funcionamento do córtex cerebral, reconhecem padrões e realizam agrupamentos (com os neurônios da rede) estabelecendo conexões fortes com os neurônios mais próximos, analogamente grupos próximos são mais similares (Cruz; Nascimento, 2018). Nos experimentos agrícolas as RNA's são utilizadas na classificação e agrupamento, predição de caracteres de interesse, estimação da diversidade genética, ajuste de modelos, estudo da adaptabilidade e estabilidade, seleção genômica ampla, dentre outros (Oliveira *et al.*, 2013; Hu *et al.*, 2017; Cardoso *et al.*, 2019).

Recentemente, foi verificado que as RNA's são capazes de selecionar genótipos de alface com tolerância a termoinibição (Catão *et al.*, 2023). No entanto, não foi verificado se possível por meio das RNA's a classificação e o agrupamento de genótipos com sementes termotolerantes e termosensíveis após o condicionamento fisiológico e armazenamento das sementes. Com isso, objetivou-se com este trabalho avaliar o uso de inteligência computacional para discriminar diferentes níveis de termoinibição em sementes de alface condicionadas fisiologicamente e armazenadas por diferentes períodos de armazenamento.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório de Sementes (LASEM) do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Foram utilizadas sementes dez linhagens de alface provenientes do Programa de Melhoramento Genético de alface Biofortificada da UFU, sendo toda a genealogia armazenada no Software "BG α BIOFORT" número de registro BR512019002403-6 no INPI (Maciel *et al.*, 2019). Foram usados também os genótipos Everglades, considerada tolerante à termoinibição, e o genótipo Grand Rapids considerada sensível à termoinibição (Catão *et al.*, 2014), totalizando 12 genótipos.

As mudas foram produzidas em casa de vegetação utilizando bandejas de poliestireno expandido com 200 células, contendo substrato comercial a base de fibra de coco. Após 21 dias

as mudas foram transplantadas para canteiros em área sob cultivo protegido, utilizando espaçamento 0,4 x 0,6 metros com seis plantas por parcela. As sementes de cada cultivar foram colhidas individualmente, beneficiadas e depois homogeneizadas compondo um único lote de sementes para cada cultivar.

As sementes foram submetidas ao condicionamento fisiológico em solução aerada de PEG 6000 (polietilenoglicol) (-1,2 MPa), a 15 °C por 72 horas, com fotoperíodo de 12 horas (Nascimento; Cantliffe, 1999). Por este método 1,0 g de sementes foram imersas em 30 mL de solução em Erlenmeyer de vidro com capacidade de 100 mL. A aeração do sistema foi realizada por meio de bomba de ar comprimido. As sementes foram retiradas e secas em estufa de circulação de ar a $32 \pm 2^\circ\text{C}$, 45% UR, por 48 horas.

Em seguida uma parte das sementes foi analisada imediatamente após o condicionamento/secagem, enquanto outra parte, foi acondicionada e identificada em sacos de papel alumizados e armazenada em câmara fria e seca (15 °C e 50% de umidade relativa do ar) sendo as análises repetidas e conduzidas com 30 e 60 dias de armazenamento. A qualidade das sementes foi determinada mediante as seguintes avaliações:

Teor de água: determinado por meio do método da estufa a 105°C ($\pm 3^\circ\text{C}$), durante 24 horas, utilizando-se duas repetições de sementes de cada genótipo (Brasil, 2009), com os resultados expressos em porcentagem.

Germinação e primeira contagem: quatro repetições de 50 sementes de cada cultivar foram semeadas sobre duas folhas de papel mata-borrão, umedecida com água destilada, na proporção de 2,5 vezes o peso do substrato seco, em caixas plásticas transparentes (tipo gerbox). As caixas com as sementes foram mantidas em câmara do tipo BOD regulada previamente nas temperaturas de 20 °C e 35 °C, sob luz constante. A avaliação constou de duas contagens de plântulas normais, aos quatro e sete dias, sendo os resultados expressos em porcentagem (Brasil, 2009).

Índice de Velocidade de germinação: realizado simultaneamente ao teste de germinação, computando-se, diariamente e no mesmo horário, o número de sementes germinadas. Foram consideradas sementes germinadas aquelas com protrusão da radícula. O cálculo do índice foi realizado de acordo com fórmula proposta por Maguire (1962).

Tetrazólio: realizado nas sementes remanescentes (sementes que não germinaram) do teste de germinação, para confirmação da termoinibição. Para isso, o embrião foi exposto após pressionar suavemente o tegumento para sua retirada. A coloração foi realizada em solução de 2,3,5-trifenil cloreto de tetrazólio em concentração de 1%, durante 3 horas no escuro, a 30°C.

A interpretação foi realizada de acordo com Brasil (2009) e os resultados expressos em número de sementes viáveis e mortas.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com quatro repetições. A análise estatística dos dados foi em esquema fatorial 12×2 (12 genótipos \times 2 temperaturas de germinação) e 12×3 (12 genótipos \times 3 épocas de armazenamento).

Realizou-se a análise discriminante e o Mapa Auto-Organizável de Kohonen (SOM) utilizando as Redes Neurais Artificiais (RNA's). A arquitetura do 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):

1ª 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 1A) (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 .

2ª 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 (η), sendo determinado pela seguinte expressão:

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

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

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

3ª 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 RNA's 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 *backpropagation*). O ciclo de treinamento foi fixado em 5000 vezes e uma taxa de erro de 0,01%, sendo separados 80% dos dados de germinação nas diferentes temperaturas para treinamento e 20% para validação da rede neural (Cruz; Nascimento, 2018) (Figura 1B). Foi estabelecida uma grade 5 x 5 para representar um conjunto de 25 neurônios.

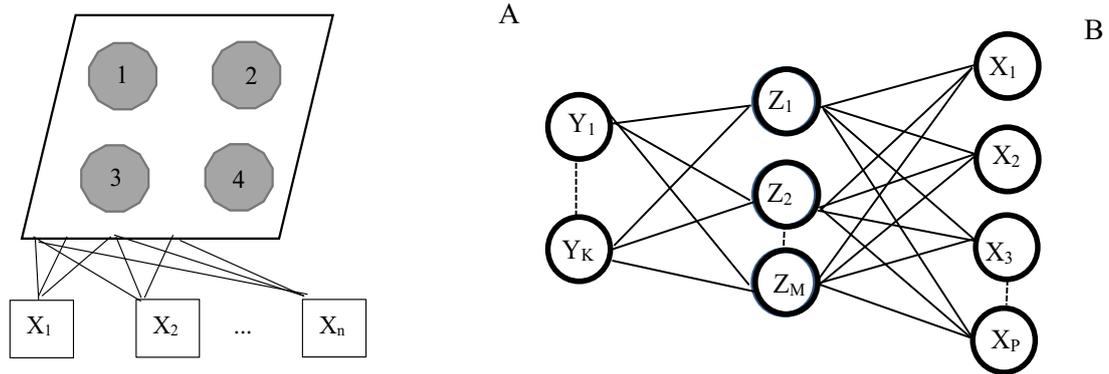


Figura 1: (A) Arquitetura e topologia de uma rede neural SOM em duas dimensões (adaptado de Cruz; Nascimento, 2018); (B) Esquema da única camada oculta da rede neural (Adaptado de Nascimento et al. 2013).

Para a análise estatística dos dados foi utilizado o teste F e análise de variância a 5% de significância. As médias foram agrupadas pelo teste Scott-Knott a 5% de significância. Para as análises foi utilizado o Programa estatístico GENES, integrado ao software R e Matlab (Cruz, 2016).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Valores mais elevados no teor de água das sementes foram verificados após o condicionamento fisiológico (Figura 2). Efeitos positivos do condicionamento osmótico têm sido relatados para sementes de hortaliças, principalmente porque nesse grupo de plantas o produto final é colhido durante o período vegetativo e o rendimento por área geralmente está relacionado com o desenvolvimento individual da planta. Nesses casos, o vigor das sementes pode afetar o crescimento vegetativo e estar frequentemente relacionado com o rendimento da cultura (Tekrony; Egli, 1991).

No processo de condicionamento fisiológico é fundamental que as sementes alcancem a Fase II da embebição, sendo os níveis de umidade suficientes para a ativação do metabolismo, mas não para a germinação completa em si (Silveira *et al.*, 2023). Nos resultados obtidos por Armondes (2016), pode ser verificado que o condicionamento osmótico foi efetivo para as sementes de média e baixa qualidade fisiológica, em acelerar a germinação e na porcentagem final de germinação. Após a secagem o teor de água das sementes variou entre 7,5% e 13,6%. No armazenamento ocorreu estabilização do teor de água das sementes entrando em equilíbrio higroscópico.

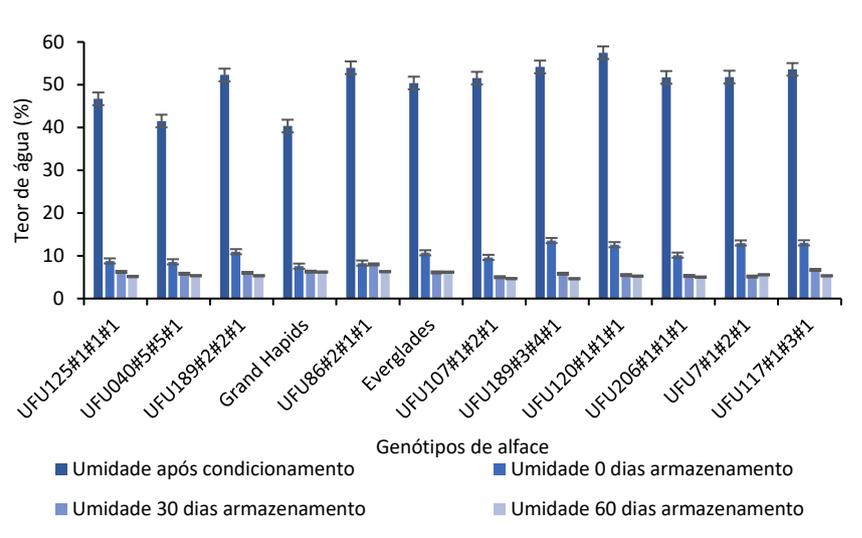


Figura 2. Teor de água das sementes logo após a colheita e o condicionamento; logo após a colheita, condicionamento e secagem; após 30 dias de armazenamento; e após 60 dias de armazenamento.

Houve decréscimo na porcentagem de germinação à 35°C quando comparada a germinação à 20°C (Tabela 1). A redução da germinação indica que houve terminibição das sementes nessa temperatura. Resultados semelhantes também foram relatados por Argyris et al. (2011) e Deng e Song (2012) ao analisar a inibição da germinação das sementes de alface em temperaturas elevadas.

Tabela 1. Primeira contagem de germinação, germinação e índice de velocidade de germinação de sementes de genótipos de alface biofortificados em função da temperatura (20°C e 35°C) após o condicionamento fisiológico.

| Genótipos | Primeira contagem (%) | | Germinação (%) | | IVG | |
|---------------|-----------------------|-------|----------------|-------|--------|---------|
| | 20°C | 35°C | 20°C | 35°C | 20°C | 35°C |
| UFU 125#1#1#1 | 65 Aa | 72 Aa | 81 Aa | 74 Aa | 6,7 Ab | 10,0 Aa |
| UFU 040#5#5#1 | 56 Aa | 29 Bb | 60 Ca | 32 Cb | 7,7 Aa | 4,1 Cb |
| UFU 189#2#2#1 | 38 Ba | 21 Ba | 52 Ca | 27 Cb | 2,8 Ba | 1,22 Ca |
| Grand Rapids | 71 Aa | 38 Bb | 87 Aa | 42 Cb | 7,1 Aa | 6,5a |
| UFU 86#2#1#1 | 32 Ba | 31 Ba | 37 Da | 34 Ca | 2,6 Ba | 3,3 Ca |
| Everglades | 64 Aa | 63 Aa | 82 Aa | 71 Aa | 5,5 Aa | 7,6 Aa |
| UFU 107#1#2#1 | 48 Ba | 49 Aa | 61 Ca | 53 Ba | 3,5 Ba | 6,0 Ba |
| UFU 189#3#4#1 | 52 Aa | 36 Bb | 66 Ba | 40 Cb | 4,1 Ba | 5,3 Ba |
| UFU 120#1#1#1 | 40 Ba | 27 Bb | 50 Ca | 33 Cb | 3,9 Ba | 2,7 Ca |
| UFU206#1#1#1 | 49 Ba | 28 Bb | 65 Ba | 36 Cb | 4,0 Ba | 3,4 Ca |
| UFU 7#1#2#1 | 48 Aa | 38 Ba | 52 Ca | 55 Ba | 3,2 Ba | 5,5 Ba |
| UFU 177#1#3#1 | 57 Aa | 55 Aa | 68 Ba | 59 Ba | 4,8 Bb | 8,3 Aa |
| CV (%) | 49,55 | | 33,61 | | 78,78 | |

* Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância.

Na cultivar UFU 86#2#1#1 houve menor porcentagem de germinação (37%) a 20°C, seguida pelos genótipos UFU 040#5#5#1, UFU 189#2#2#1, UFU 107#1#2#1 e UFU 120#1#1#1. Os genótipos UFU 86#2#1#1, UFU 189#2#2#1 e UFU 120#1#1#1 também

apresentaram menores valores de percentagem de primeira contagem e índice de velocidade de germinação, tanto a 20 °C quanto a 35°C. A 20°C pode ser que as sementes estavam com dormência primária, que é natural na espécie *Lactuca sativa*. A dormência primária é comum na maioria dos genótipos de alface, o que impede ou prejudica a germinação logo após a colheita das sementes. Essa dormência pode ser superada naturalmente após o quarto mês de armazenamento das sementes (Kano *et al.*, 2011) ou por meio de métodos, como o condicionamento osmótico, o qual tem sido utilizado para aumentar o sucesso da germinação e estabelecimento de mudas sob condições adversas.

De acordo com Sung *et al.* (2008) nas temperaturas acima de 30°C, ocorre o enfraquecimento do endosperma das sementes de alface, o que impede o crescimento do embrião e restringe a protrusão radicular. Logo a germinação das sementes da maioria dos genótipos de alface poderá ser afetada ou completamente inibida. A temperatura ideal para a germinação de sementes de alface é de 20°C (Brasil, 2009) e padrão mínimo é de 80% para a comercialização de sementes desta espécie. Logo os genótipos UFU 125#1#1#1, Grand Rapids e Everglades (Tabela 1), foram os únicos com germinação acima deste padrão.

A germinação dos genótipos UFU125#1#1#1 e Everglades foi 74% e 71%, respectivamente, na temperatura de 35°C (Tabela 1). Nascimento *et al.* (2012) e Catão *et al.* (2014) caracterizam a cultivar Everglades como termotolerante. A germinação das sementes dos genótipos UFU107#1#2#1, UFU7#1#2#1 e UFU177#1#3#1, a 35°C, foi intermediária em relação aos demais genótipos, os quais apresentaram sementes termoinibidas. Foi verificado que ocorreu a embebição, mas a germinação das sementes da maioria dos genótipos foi extremamente baixa, causando redução do potencial fisiológico.

A cultivar Grand Rapids apesar de possuir uma germinação de acordo com o padrão de comercialização, a 20°C, foi observado decréscimo significativo na germinação a 35°C. Ademais, Catão *et al.* (2018) consideraram a cultivar Grand Rapids como sensível à termoinibição, baseado na redução do potencial fisiológico das sementes e na baixa atividade da enzima endo- β -mananase em temperaturas elevadas.

É possível observar logo após o condicionamento fisiológico, no tempo zero, que as cultivares UFU 040#5#5#1 e UFU 86#2#1#1 apresentaram as menores germinações observadas. Após o armazenamento de 30 e 60 dias a germinação das sementes dessas cultivares se manteve baixa não diferenciaram no tempo.

Tabela 2. Primeira contagem de germinação, germinação e índice de velocidade de germinação de sementes de genótipos de alface biofortificados em função do tempo de armazenamento após o condicionamento fisiológico.

| Genótipos | Primeira contagem (%) | | | Germinação (%) | | | IVG | | |
|---------------|-----------------------|-------|-------|----------------|-------|-------|---------|---------|---------|
| | 0 | 30 | 60 | 0 | 30 | 60 | 0 | 30 | 60 |
| UFU 125#1#1#1 | 81 Ba | 77 Aa | 48 Ab | 84 Aa | 79 Aa | 70 Aa | 12,4 Aa | 8,97 Ab | 4,07 Ac |
| UFU 040#5#5#1 | 44 Da | 42 Ba | 36 Aa | 46 Da | 53 Ba | 40 Ca | 9,01 Ba | 4,91 Ab | 3,78 Ab |
| UFU 189#2#2#1 | 51 Ca | 33 Cb | 6 Cc | 56 Ca | 43 Ba | 19 Db | 4,05 Da | 1,55 Cb | 0,42 Bb |
| Grand Rapids | 72 Ba | 68 Aa | 25 Bb | 74 Ba | 74 Aa | 46 Cb | 12,5 Aa | 6,15 Bb | 1,85 Bc |
| UFU 86#2#1#1 | 37 Da | 36 Ca | 22 Bb | 40 Da | 39 Ba | 28 Da | 4,85 Da | 2,25 Cb | 1,73 Cb |
| Everglades | 93 Aa | 64 Ab | 35 Ac | 94 Aa | 75 Ab | 62 Bc | 13,1 Aa | 3,65 Cb | 2,86 Ab |
| UFU 107#1#2#1 | 77 Ba | 46 Bb | 22 Bc | 79 Ba | 54 Bb | 39 Cc | 9,99 Ba | 2,54 Cb | 1,74 Bb |
| UFU 189#3#4#1 | 68 Ba | 48 Bb | 17 Bc | 70 Ba | 52 Bb | 38 Cb | 9,75 Ba | 3,06b | 1,38 Bb |
| UFU 120#1#1#1 | 54 Ca | 42 Ba | 6 Cb | 58 Ca | 48 Ba | 18 Db | 5,73 Da | 3,64 Ca | 0,52 Bb |
| UFU206#1#1#1 | 61 Ca | 44 Bb | 11 Cc | 64 Ca | 50 Bb | 39 Cb | 7,08 Da | 3,02 Cb | 1,02 Bb |
| UFU 7#1#2#1 | 61 Ca | 47 Bb | 22 Bc | 68 Ba | 52 Bb | 40 Cb | 8,51 Ba | 2,79 Cb | 1,67 Bb |
| UFU 177#1#3#1 | 73 Ba | 55 Bb | 42 Ac | 78 Ba | 63 Ab | 52 Bb | 10,1 Ba | 5,90 Bb | 3,55 Ac |
| CV (%) | 28,30 | | | 24,66 | | | 42,44 | | |

* Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância.

A primeira contagem de germinação, germinação e índice de velocidade de germinação da cultivar UFU 189#2#2#1 decresceu consideravelmente em função do condicionamento osmótico seguido do armazenamento. O decréscimo da germinação após o armazenamento possivelmente deve ter ocorrido porque sementes condicionadas osmoticamente tendem a diminuir a germinação após essa técnica. Fato também observado por Fessel et. al. (2002), para os cultivares de alface Mesa 659 e Nabuco RS, a qualidade fisiológica das sementes dos diferentes tratamentos decresceu com o decorrer do armazenamento, ocorrendo uma possível reversão do condicionamento, ou mesmo deterioração das sementes em função do período de armazenamento. McDonald (1999) relatou que um dos pontos mais críticos da técnica do condicionamento osmótico de sementes é determinar o período de duração que se estende os benefícios do condicionamento durante o armazenamento.

As sementes remanescentes do teste de germinação estavam embebidas, independente da época de avaliação e temperatura. Isso facilita a exposição do embrião para a realização do teste de tetrazólio. Como mencionado, as sementes estavam embebidas, mas não ocorreu a protrusão radicular, fato também observado por Catão et al. (2014).

O teste de tetrazólio é um teste bioquímico, rápido, capaz de detectar a viabilidade de sementes baseado na respiração, particularmente em espécies que a germinação é lenta ou possuam dormência. Ainda é possível verificar a viabilidade de sementes de alface que apresentam termoinibição (Catão *et al.*, 2014). Aos 30 e 60 dias de armazenamento nas

temperaturas de 20°C e 35°C é possível observar um maior número de sementes remanescentes (Figura 3), sendo que houve grande mortalidade de sementes dos genótipos alface a 35°C.

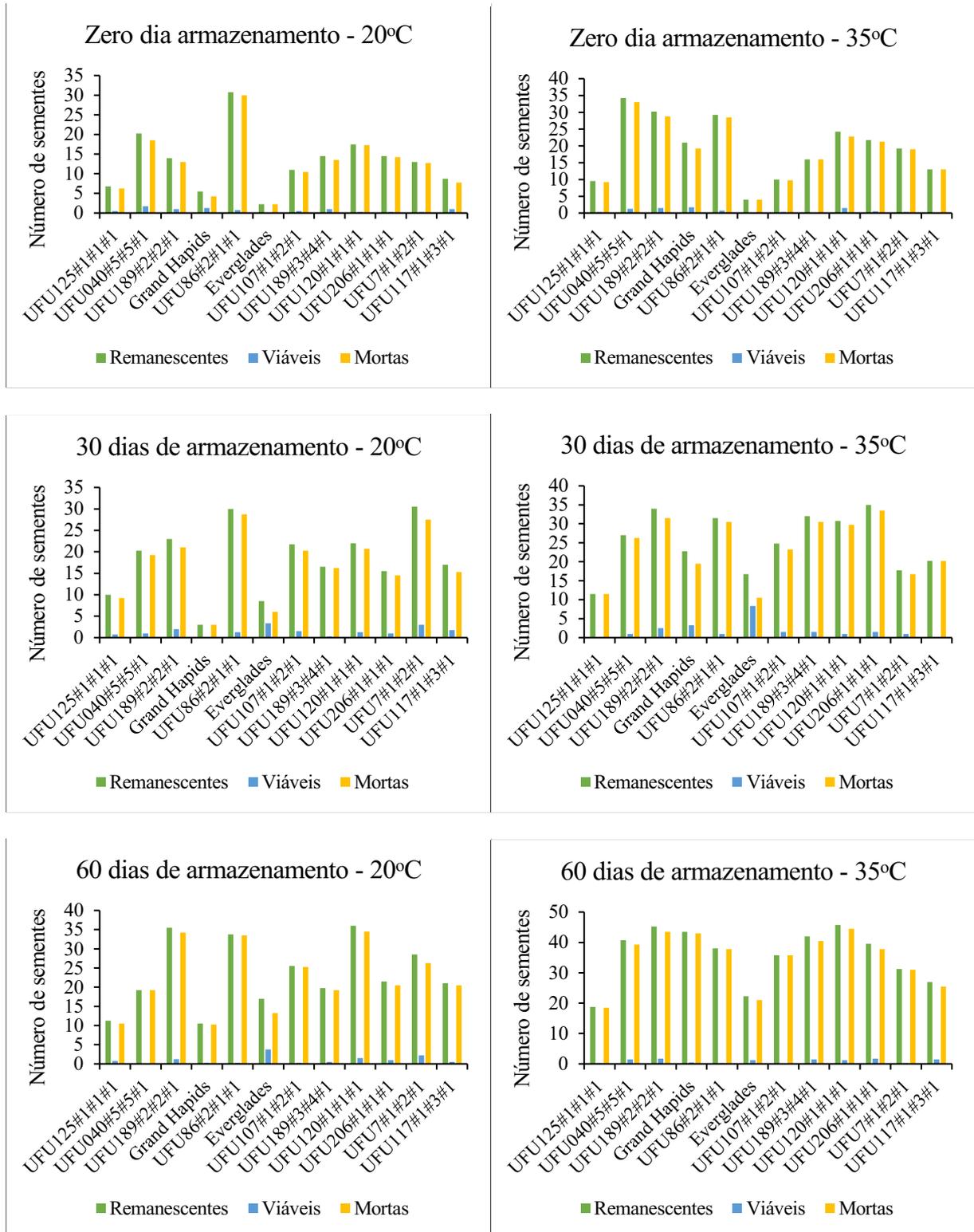


Figura 3. Número de sementes remanescentes (viáveis e mortas) do teste de germinação de genótipos de alface submetidas a diferentes temperaturas logo após a colheita e com 30 e 60 dias de armazenamento. *Sementes não germinadas do teste de germinação, em um total de 200 sementes.

Schwember e Bradford (2010), Argyris et al. (2011) e Deng e Song (2012) verificaram que o endosperma que envolve o embrião constitui uma barreira física à emergência da radícula, sendo fator preponderante para à imposição de termoinibição em sementes de alface. O enfraquecimento do endosperma micropilar envolvendo a ponta da radícula pode estar envolvido na ocorrência de termoinibição. A elevação da temperatura além de provocar a termoinibição em sementes de alface, acelera também as reações químicas e intensifica os processos metabólicos. Por consequência desses eventos metabólicos a respiração da semente é maior, o que proporciona aumento da velocidade de deterioração.

A cultivar Everglades possui o menor número de sementes remanescentes a 20°C e a 35°C, logo após a colheita. Pelo teste de tetrazólio é possível observar que estas poucas sementes remanescentes estavam mortas e não termoinibidas. Mesmo essa cultivar sendo considerada termotolerante por Catão et al. (2014), pode-se afirmar que é afetada com os efeitos das altas temperaturas. Na temperatura de 35°C houve menor número de sementes remanescentes da cultivar UFU125#1#1#1 aos 30 e 60 dias de armazenamento, estando praticamente todas mortas. Aos 30 e 60 dias de armazenamento pode ser observado que houve menor número de sementes remanescentes na cultivar Grand Rapids a 20°C. Isso indica o quanto essa cultivar é sensível a altas temperaturas de germinação.

O Mapa Auto Organizável de Kohonen (SOM) usando RNA's tem a capacidade de detectar e organizar as semelhanças dos padrões de entrada por meio de aprendizagem competitiva, simulando o córtex cerebral com conexões entre os neurônios mais fortes devido à sua proximidade (Braga *et al.*, 2011; Cruz e Nascimento, 2018). Na Figura 4 é possível se verificar como os genótipos e períodos de armazenamento influenciaram na ativação de cada neurônio definindo os agrupamentos de forma diferente quando comparados aos demais.

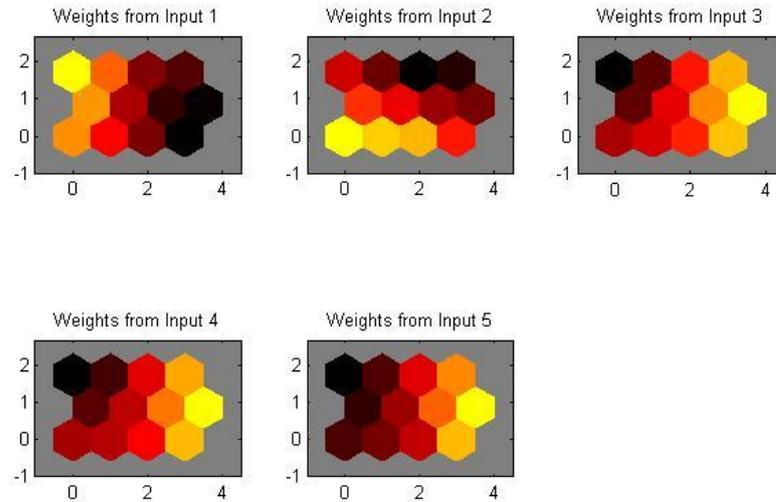


Figura 4. Peso das variáveis de entrada nos neurônios da rede em que cores mais claras representam um efeito maior de uma variável em uma determinada rede de neurônios para definir o cluster. Entrada 1 = Genótipos; Entrada 2 = Armazenamento; Entrada 3 = Primeira contagem de germinação; Entrada 4 = Germinação; Entrada 5 = Índice de velocidade de germinação.

É possível observar que as entradas: primeira contagem de germinação, germinação e índice de velocidade de germinação, possuem correlação entre si por possuírem o mesmo padrão de cores, ou seja, se comportam de forma similar, apenas com algumas variações. De acordo com Cardoso et al. (2019) cores claras apresentam menor distância entre os neurônios o que significa que as características têm mais importância, para a distinção dos grupos. Por outro lado, as cores escuras representam distâncias maiores. Para entrada de genótipos o grupo 9 foi o que representou um efeito maior da variável, representado pela cor amarelo clara. Já o grupo 1 foi o que mais se diferenciou aos demais quando comparada a entrada dos diferentes períodos de armazenamento. O grupo 8 conta com os genótipos UFU125#1#1#1, Grand Rapids e Everglades, foi o que mais diferenciou dos demais nas entradas 3, 4 e 5.

Os genótipos foram reunidos em grupos, correspondentes a germinação após colheita, germinação após 30 dias de armazenamento e germinação após 60 dias de armazenamento. Com isto, é possível observar a resposta da germinação em relação ao tempo de armazenamento na Figura 5.

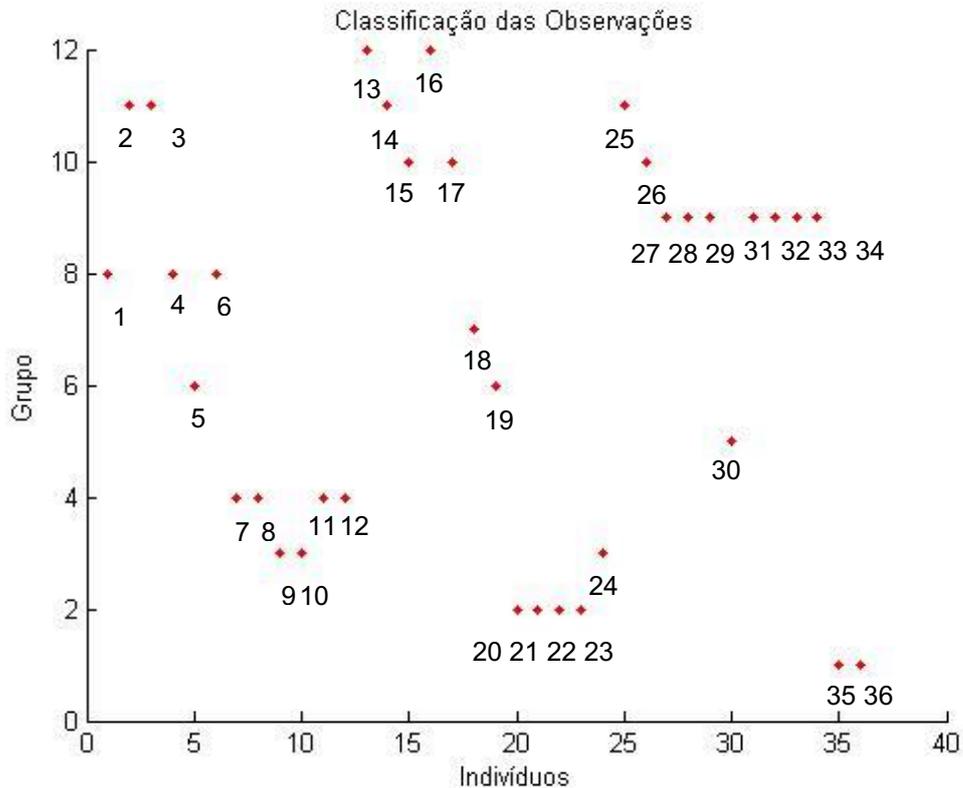


Figura 5. Classificação de genótipos em cada agrupamento pelos SOM. 1-13-25 UFU 125#1#1#1, 2-14-26 UFU 040#5#5#1, 3-15-27 UFU 189#2#2#1, 4-16-28 Grand Rapids, 5-17-29 UFU 86#2#1#1, 6-18-30 Everglades, 7-19-31 UFU 107#1#2#1, 8-20-32 UFU 189#3#4#1, 9-21-33 UFU 120#1#1#1, 10-22-34 UFU206#1#1#1, 11-23-35 UFU 7#1#2#1, 12-24-36 UFU 177#1#3#1. Genótipos em agrupamentos de acordo com os tempos: após colheita, 30 dias de armazenamento e 60 dias de armazenamento.

Isso sugere que no tempo após a colheita, pode-se observar a presença de dormência primária oriunda de herança materna, pois a maioria dos genótipos não foram alocadas dentro do mesmo agrupamento, fator este que foi diminuindo com os demais tempos de armazenamento.

Os genótipos UFU7#1#2#1 e UFU177#1#3#1 foram responsivos ao tempo de armazenamento, sugerindo presença de dormência primária, diferente dos genótipos UFU125#1#1#1, UFU040#5#5#1, UFU189#2#2#1 e Grand Rapids, nas quais não foram responsivos ao tempo de armazenamento. Sendo assim, pode ser que a dormência primária não tenha se manifestado nestes genótipos, nas condições experimentais, podendo ser visualizados pelas cores mais escuras na Figura 4 (entrada 2).

Na Figura 6 há um grupo de indivíduos com alta dissimilaridade para armazenamento nos diferentes tempos. Os neurônios mais distantes não apresentaram competitividade e sua dissimilaridade, amplificada com a presença de neurônios com zero indivíduos, formando uma

barreira de distanciamento, uma vez que no SOM os agrupamentos são mais similares devido sua proximidade física.

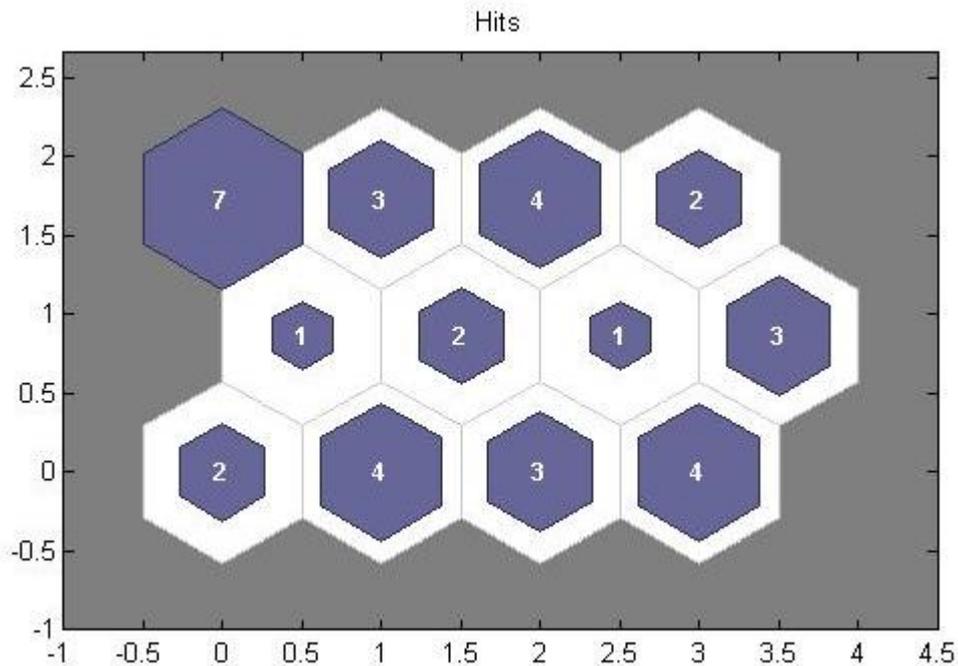


Figura 6. Mapa topológico na rede Auto Organizável de Kohonen para 12 classes de classificação por meio de rede neural artificial.

Os genótipos UFU189#2#2#1, Grand Rapids, UFU86#2#1#1, UFU107#1#2#1, UFU189#3#4#1, UFU120#1#1#1 e UFU206#1#1#1 são mais próximas entre si, formando um agrupamento de indivíduos mais similares em relação ao armazenamento das sementes. Estes genótipos se agrupam aos 60 dias de armazenamento, podendo observar redução na germinação e de vigor das sementes com o armazenamento.

Na Figura 7 é possível verificar que os neurônios foram ativados formando agrupamentos menores, mas com cores bem definidas. A entrada 1 (genótipos) foi dissimilar quando comparada com a entrada 2 (temperaturas). Este fato demonstra como a variação da temperatura pode afetar os genótipos reduzindo o vigor e a germinação. Os genótipos UFU125#1#1#1, UFU189#2#2#1, UFU86#2#1#1, UFU107#1#2#1, UFU120#1#1#1 e UFU7#1#2#1 obtiveram melhor desempenho para o fator genótipo. Porém, para o fator temperatura os genótipos Grand Rapids, Everglades, UFU 189#3#4#1 e UFU206#1#1#1 se distinguiram e foram o grupo 5, marcados pela cor amarelo clara, indicando características de mais importância para a distinção dos grupos. É válido ressaltar que os genótipos Grand Rapids e Everglades são consideradas termosensível e termotolerante, respectivamente, (Catão *et al.*

2014). Mesmo sendo alocadas no mesmo grupo esses genótipos são dissimilares para temperatura.

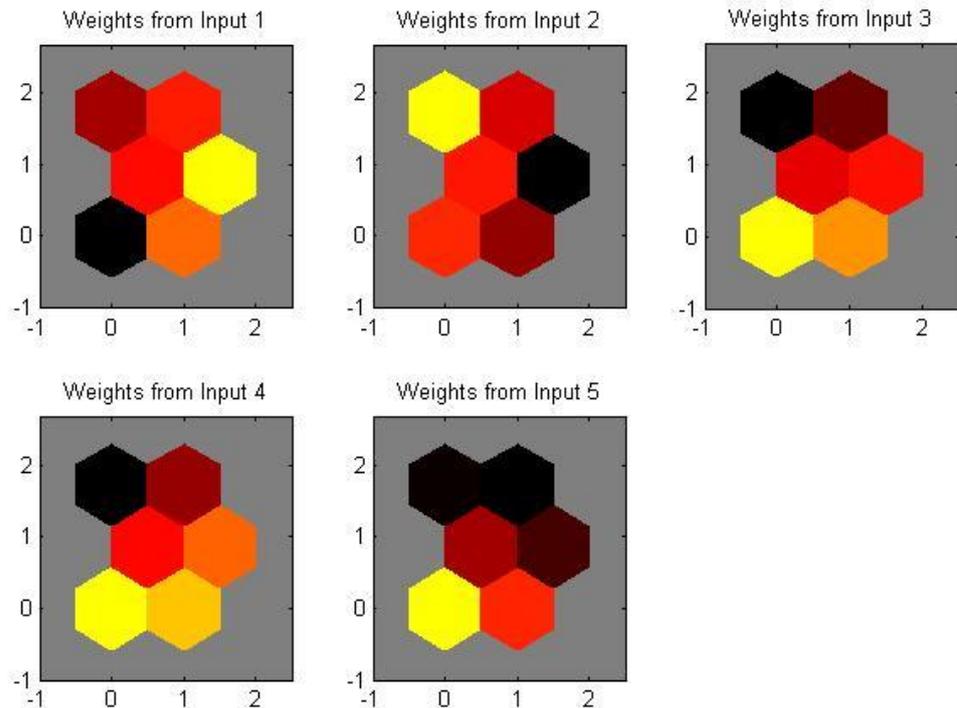


Figura 7. Peso das variáveis de entrada nos neurônios da rede em que cores mais claras representam um efeito maior de uma variável em uma determinada rede de neurônios para definir o cluster. Entrada 1 = Genótipos; Entrada 2 = Temperaturas; Entrada 3 = Primeira contagem de germinação; Entrada 4 = Germinação; Entrada 5 = Índice de velocidade de germinação.

Para as entradas 3, 4 e 5 (primeira contagem de germinação, germinação, índice de velocidade de germinação) a disposição das cores foram semelhantes, sendo os genótipos UFU125#1#1#1, UFU040#5#5#1, UFU189#2#2#1, UFU107#1#2#1 e UFU177#1#3#1 similares para essas entradas. Vale ressaltar que três destes genótipos também se destacaram na entrada 1, apresentando comportamento similar.

Nota-se na Figura 8, que poucos grupos foram formados, logo a temperatura não foi um fator determinante para separar os grupos. É possível verificar que poucos indivíduos são considerados tolerantes a altas temperaturas, como foi o caso da cultivar Everglades com um ótimo desempenho na temperatura de 35°C. Esse resultado corrobora com Catão et al. (2018) que verificaram alta porcentagem de germinação do genótipo Everglades a 35°C. A cultivar Grand Rapids, oposta a cultivar Everglades, possui desempenho a temperatura de 20°C, entretanto, sensível a altas temperaturas. Os demais genótipos do grupo UFU 189#3#4#1 e UFU206#1#1#1 obtiveram desempenho mediano nas duas temperaturas.

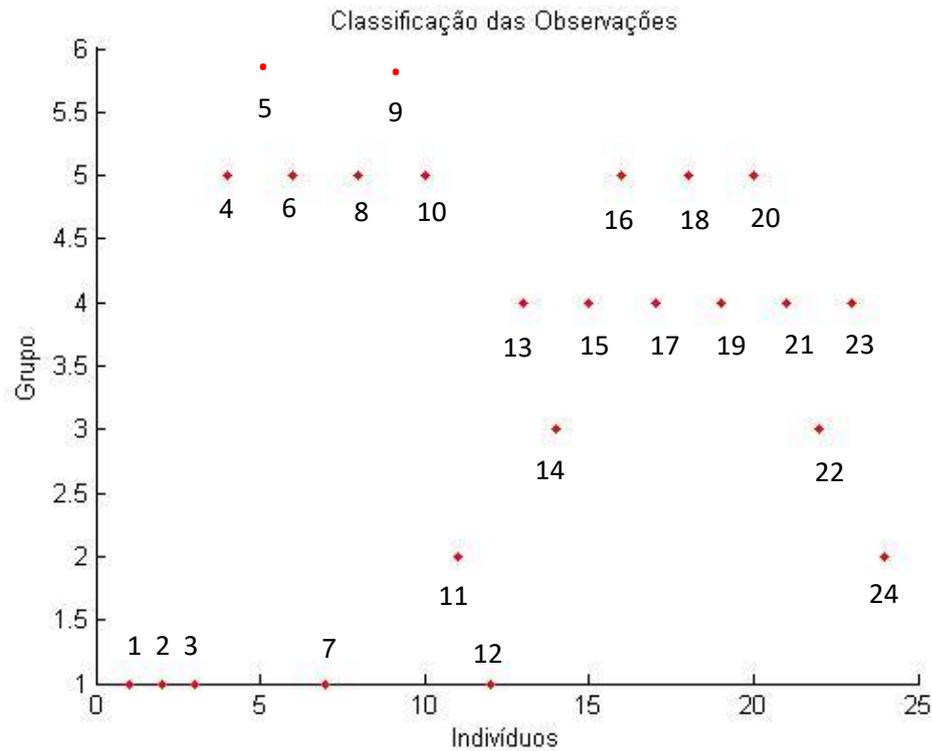


Figura 8. Classificação de genótipos em cada agrupamento pelos SOM. 1-13 UFU 125#1#1#1, 2-14 UFU 040#5#5#1, 3-15 UFU 189#2#2#1, 4-16 Grand Rapids, 5-17 UFU 86#2#1#1, 6-18 Everglades, 7-19 UFU 107#1#2#1, 8-20 UFU 189#3#4#1, 9-21 UFU 120#1#1#1, 10-22 UFU206#1#1#1, 11-23 UFU 7#1#2#1, 12-24 UFU 177#1#3#1. Genótipos classificados em agrupamentos de acordo com as temperaturas: 20°C e 35°C.

Na Figura 9 há grupos de indivíduos com dissimilaridade para germinação nas diferentes temperaturas. Os agrupamentos 1, 4 e 5 possuem indivíduos mais similares entre si, quando comparados aos grupos 2, 3 e 6, compostos por menor número de indivíduos. O grupo 4 apesar maior similaridade entre indivíduos (UFU125#1#1#1, UFU189#2#2#1, UFU86#2#1#1, UFU107#1#2#1, UFU120#1#1#1 e UFU7#1#2#1), porém apresentou pior desempenho fisiológico na temperatura de 35°C (Figura 8).

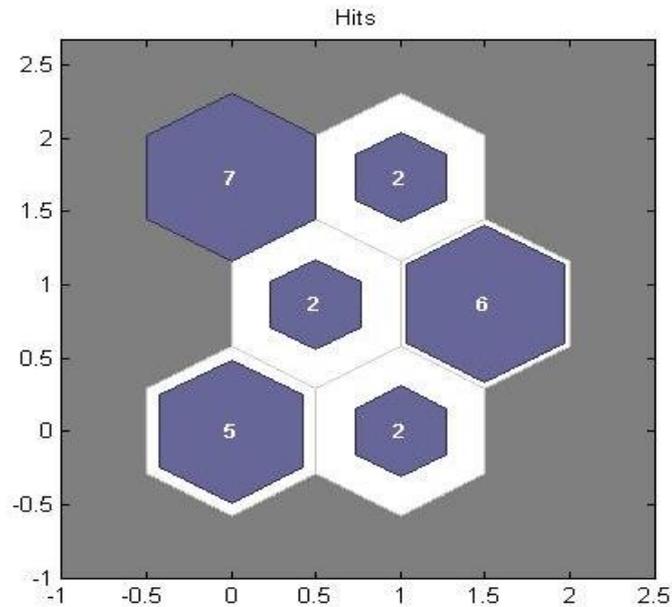


Figura 9. Mapa topológico na rede Auto Organizável de Kohonen para 6 classes de classificação por meio de rede neural artificial.

4. CONCLUSÃO

As redes neurais são eficientes na identificação de dissimilaridades de genótipos de alface e as organizam com relação à tolerância à terminibição das sementes após condicionamento fisiológico e armazenamento.

REFERÊNCIAS

AFZAL, I.; BASRA, S.M.A.; AHMAD, N.; LODHI, T.E. Counteraction of salinity stress on wheat plants by pre-sowing seed treatments. **Pakistan Journal of Agriculture Science**, v.44, n.1, p.50-58. 2007.

ALVARADO-LÓPEZ, S.; SORIANO, D.; VELÁZQUEZ, N.; OROZCO-SEGOVIA, A.; GAMBOA-DEBUEN, A. Efeitos do priming na germinação de sementes de *Tecoma stans* (Bignoniaceae) e *Cordia megalantha* (Boraginaceae), duas espécies de árvores decíduas tropicais. **Acta Oecologica**, v.61, n.1, p.65-70, 2014.

AQUINO, CR; SEABRA JUNIOR, S; CAMILI, EC; DIAMANTE, MS; PINTO, ESC. 2014. Produção e tolerância ao pendoamento de alface-romana em diferentes ambientes. **Revista Ceres** 61: 558-566.

- ARGYRIS, J; TRUCO, MJ.; OCHOA, O; MCHALE, L; DAHAL, P.; VAN DEYNZE, A; BRADFORD, K J. 2011. A gene encoding an abscisic acid biosynthetic enzyme (LsNCED4) collocalizes with the high temperature germination locus Htg6. 1 in lettuce (*Lactuca sp.*). **Theoretical and Applied Genetics** 122: 95-108.
- ARMONDES, K. A., DIAS, D. C., MARTÍNEZ, P. A., SILVA, L. J., & HILST, P. C.. 2016. Condicionamento osmótico e desempenho de sementes de repolho com diferentes níveis de vigor. **Horticultura Brasileira**, 34(3), 428–434. <https://doi.org/10.1590/S0102-05362016003020>. Acesso em: 09 janeiro 2024.
- BLIND, AD; SILVA FILHO, DF. 2015. Desempenho produtivo de cultivares de alface americana na estação seca da Amazônia Central. **Bioscience Journal** 31: 404-414.
- BRAGA, A. P.; CARVALHO, A. C. L. F.; LUDEMIR, T.B. Redes Neurais Artificiais: Teoria e aplicações. **2th ed. Rio de Janeiro: LTC**, 2011.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília, 2009.
- CARDOSO, D.B.O., et al. Colored fiber cotton in the Uberlândia region using artificial neural networks for yield assessment. **Genetics and Molecular Research**. 2019, 18 (1), 13.
- CATÃO, HCRM; GOMES, LAA; GUIMARÃES, RM; FONSECA, PHF; CAIXETA, F; GALVÃO, AG. 2018. Physiological and biochemical changes in lettuce seeds during storage at different temperatures. **Horticultura Brasileira** 36: 118-125.
- CATÃO, HCRM; GOMES, LAA; GUIMARÃES, RM; FONSECA, PHF; CAIXETA, F; MARODIN, JC. 2016. Physiological and isozyme alterations in lettuce seeds under different conditions and storage periods. **Journal of Seed Science** 38, 305-313.
- CATÃO, HCRM; GOMES, LAA; SANTOS, HO; GUIMARÃES, RM; FONSECA, PHF; CAIXETA, F. 2014. Aspectos fisiológicos e bioquímicos da germinação de sementes de alface em diferentes temperaturas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 49: 316-322.
- CEPEA. Área com HF cresce e volta a patamares pré-pandemia. 2023. **HF Brasil/CEPEA**. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/releases/hf-brasil-cepea-area-com-hf-cresce-e-volta-a-patamares-pre-pandemia.aspx>. Acesso em: 17 de abril 2024.
- CRUZ, C. D. and NASCIMENTO, M. Inteligência computacional aplicada ao melhoramento genético. **1th ed. Viçosa: UFV**, 2018.

- CRUZ, C.D. Genes Software: extended and integrated with the R, Matlab and Selegen. **Acta Scientiarum Agronomy**. 2016, 38 (4), 547-552.
- DENG, Z.; SONG, S. 2012. Sodium nitroprusside, ferricyanide, nitrite and nitrate decrease the thermo-dormancy of lettuce seed germination in a nitric oxide-dependent manner in light. **South African Journal of Botany**, v.78, p.139-146.
- Ferreira, D. F. (2011). Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, 35(6), 1039-1042, DOI: 10.1590/S1413-70542011000600001. Acesso em: 09 janeiro 2024.
- FESSEL, S. A., VIEIRA, R. D., RODRIGUES, T. de J. D., & FAGIOLI, M.. (2002). Germinação de sementes de alface submetidas a condicionamento osmótico durante o armazenamento. **Scientia Agricola**, 59(1), 73–77. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162002000100011>. Acesso em: 09 janeiro 2024.
- FILGUEIRA, F. A. R. Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. **3. ed. Viçosa**: UFV, 2013. 421 p.jm
- HFBRASIL. Alface. **16 - Anuário 2023|2024 da revista Hortifruti Brasil** (Retrospectiva 2023 e Perspectiva 2024). 2023. Disponível em: <https://static.poder360.com.br/2024/01/anuario-hf-brasil-retrospectiva-2023-perspectiva-2024.pdf>. Acesso em: 17 de abril 2024.
- HU, Z., ZHAO, Q. and WANG, J. The Prediction Model of Cotton Yarn Quality Based on Artificial Recurrent Neural Network. In: **International Conference on Applications and Techniques in Cyber Security and Intelligence**. 2019, 1017, 857-866. Springer, Cham.
- KANO, C.; CARDOSO, A. I. I.; VILLAS BÔAS, R. L.; HIGUTI, A. R. O. Germinação de sementes de alface obtidas de plantas cultivadas com diferentes doses de fósforo. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 32, n. 2, p. 591-598, 2011. DOI:10.5433/1679-0359.2011v32n2p591. Acesso em: 20 de março 2024.
- KOZAREWA, I.; CANTLIFFE, D.J.; NAGATA, R.T.; STOFFELLA, P.J. 2006. High maturation temperature of lettuce seeds during development increased ethylene production and germination at elevated temperatures. **Journal of the American Society of Horticultural Science**, v.131, p.564-570.
- MACIEL, G. M., SIQUIEROLI, A. C. S., GALLIS, R. B. A., PEREIRA, L. M., & SALES, V. F. (2019). Programa de computador BG a Biofort. Depositante: **Universidade Federal de Uberlândia**. BR512019002403-6. Depósito: 01 fev. 2019. Concessão: 23 out. 2019.

- MAGUIRE, JD. 1962. Speed of germination – aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science** 2: 176-177.
- MARCOS FILHO, J. Fisiologia de sementes de plantas cultivadas. **Piracicaba: FEALQ**, 495p. 2015.
- McDONALD, M.B. Seed deterioration: physiology, repair and assessment. **Seed Science and Technology**, v.27, p.177-237, 1999.
- NASCIMENTO, W.M.; CANTLIFFE, D.J.; HUBER, D.J. 2004. Ethylene evolution and endo- β -mannanase activity during lettuce seed germination at high temperature. **Scientia Agricola**, v.61, p.156-163.
- NASCIMENTO, WM; CRODA, MD; LOPES, ACA. 2012. Seed production, physiological quality and identification of thermotolerant lettuce genotypes. **Revista Brasileira de Sementes** 34: 510-517.
- OLIVEIRA, A.C.L., et al. Use of mathematical modeling (artificial neural networks) in classification of banana autotetraploid (*Musa acuminata* colla). **Bioscience Journal**. 2013, 29 (3), 617-622, 2013.
- SILVA, I.N.; SPATTI, D.H.; FLAUZINO, R.A. Redes neurais artificiais para engenharia e ciências aplicadas: curso prático. São Paulo. **Artliber Editora Ltda**, 2010.
- SILVEIRA, A. S., PINHEIRO, D. T., OLIVEIRA, R. M., DIAS, D. C. F. S., & SILVA, L. J.. (2023). Osmopriming with selenium: physical and physiological quality of tomato seeds in response to water deficit. **Journal of Seed Science**, 45, e202345012. DOI: <https://doi.org/10.1590/2317-1545v45267349>
- SUNG, Y.; CANTLIFFE, D.J.; NAGATA, R.T.; NASCIMENTO, W.M. 2008. Structural changes in lettuce seed during germination at high temperature altered by genotype, seed maturation temperature, and seed priming. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v.133, p.300-311.
- SCHWEMBER, A. R.; BRADFORD, K. J. A genetic locus and gene expression patterns associated with the priming effect on lettuce seed germination at elevates temperatures. **Plant Molecular Biology**, v. 73, p. 105-118, 2010. DOI: 10.1007/s11103-009-9591-x. Acesso em: 09 janeiro 2024.

TEKRONY, D. M.; EGLI, D. B. Relationship of seed vigor to crop yield: a review. **Crop Science**, Madison, v. 31, p. 816-822, 1991.

YOONG, FY; O'BRIEN, LK; TRUCO, MJ; HUO, H; SIDEMAN, R; HAYES, R; MICHELMORE, RW; BRADFORD, KJ. 2016. Genetic variation for thermotolerance in lettuce seed germination is associated with temperature-sensitive regulation of ethylene response factor1 (ERF1). **Plant Physiology** 170: 472-488.