

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS E ENGENHARIA – CÂMPUS DE TUPÃ
Programa de Pós-graduação em Agronegócio e Desenvolvimento

JOÃO PAULO MACHADO MANTOVANI

**MODELAGEM NEURO-FUZZY NA FASE VEGETATIVA DA CULTURA
DO AMENDOIM (*Arachis hipogaea* L.) ESTIMULADOS NO
TRATAMENTO DE SEMENTE POR DOSES DE BORO**

Tupã – SP
2023

JOÃO PAULO MACHADO MANTOVANI

**AVALIAÇÕES QUANTITATIVAS NA FASE VEGETATIVA DA
CULTURA DO AMENDOIM (*Arachis hipogaea* L.) ESTIMULADOS NO
TRATAMENTO DE SEMENTE POR DOSES DE BORO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronegócio e Desenvolvimento da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Câmpus de Tupã, como requisito para a obtenção do título de Doutor em Agronegócio e Desenvolvimento.

Área de concentração: Agronegócio e Desenvolvimento.

Linha de pesquisa: Competitividade de Sistemas Agroindustriais

Orientador: Prof. Dr. Luís Roberto Almeida Gabriel Filho

Coorientadores: Prof. Dr. André Rodrigues dos Reis e Profa. Dra. Camila Pires Cremasco Gabriel

Tupã – SP
2023

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Biblioteca e Documentação da FCE – Unesp, Câmpus Tupã:

Mantovani, João Paulo Machado.

Modelagem neuro-fuzzy na fase vegetativa da cultura do amendoim (*Arachis hipogaea* L.) estimulados no tratamento de semente por doses de boro. / João Paulo Machado Mantovani. – Tupã: [s.n.], 2023.
66 f. : il.

Tese (Mestrado em Agronegócio e Desenvolvimento) – Universidade Estadual Paulista UNESP – Faculdade de Ciências e Engenharia, 2023.

Orientador: Luís Roberto Almeida Gabriel Filho

Coorientador: André Rodrigues dos Reis

Coorientadora: Profa. Dra. Camila Pires Cremasco

Gabriel

1. Boro. 2. Amendoim. 3. Germinação. I. Título. II.

Autor.

Fonte: Eliana Kátia Pupim, bibliotecária CRB 8 – 6202. Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: Modelagem neuro-fuzzy das variáveis biométricas da cultura do amendoim (*Arachis hipogaea* L.) na fase da germinação estimulados no tratamento de semente por doses de boro

AUTOR: JOÃO PAULO MACHADO MANTOVANI

ORIENTADOR: LUÍS ROBERTO ALMEIDA GABRIEL FILHO

COORIENTADOR: ANDRÉ RODRIGUES DOS REIS

COORIENTADORA: CAMILA PIRES CREMASCO GABRIEL

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em Agronegócio e Desenvolvimento, pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. LUÍS ROBERTO ALMEIDA GABRIEL FILHO (Participação Virtual)

Departamento de Gestão Desenvolvimento e Tecnologia / Faculdade de Ciências e Engenharia - FCE - UNESP
- Tupã/SP

 Assinado de forma digital
por Luis Roberto Almeida
Gabriel Filho:26878761867
Dados: 2023.08.08 19:30:26
-03'00'

Prof. Dr. ANTONIO ADOLPHO MARTINS RAPOSO (Participação Virtual)

Coordenação do Curso de Eletrônica / Instituto Federal de São Paulo - IFSP - Tupã/SP

 Documento assinado digitalmente
ANTONIO ADOLPHO MARTINS RAPOSO
Data: 04/08/2023 21:00:50-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. FERNANDO DE LIMA CANEPELE (Participação Virtual)

Engenharia de Biosistemas / Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos

 Documento assinado digitalmente
FERNANDO DE LIMA CANEPELE
Data: 06/08/2023 17:22:17-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. RAUL ANDRES MARTINEZ URIBE (Participação Virtual)

Departamento de Engenharia de Biosistemas / Faculdade de Ciências e Engenharia - FCE - UNESP -
Tupã/SP

 Documento assinado digitalmente
RAUL ANDRES MARTINEZ URIBE
Data: 04/08/2023 19:43:25-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. SERGIO AUGUSTO RODRIGUES (Participação Virtual)

Bioprocessos e Biotecnologia / Faculdade de Ciências Agrônomicas - FCA - UNESP - Botucatu/SP

 Documento assinado digitalmente
SERGIO AUGUSTO RODRIGUES
Data: 07/08/2023 10:02:20-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Tupã, 03 de agosto de 2023

Agradecimentos

Gostaria de expressar minha profunda gratidão a todas as pessoas que tornaram possível a realização deste trabalho e contribuíram de forma significativa para o meu percurso acadêmico e pessoal.

Primeiramente, gostaria de agradecer ao meu orientador Prof. Prof. Dr. Luís Roberto Almeida Gabriel Filho por sua orientação sábia, inestimável expertise e apoio incondicional ao longo de todo este trabalho. Seu comprometimento com a excelência acadêmica e sua paciência em me guiar durante este percurso foram fundamentais para o sucesso deste estudo.

À minha instituição de ensino Unesp por fornecer os recursos e o ambiente propício para a realização deste doutorado, minha gratidão. Agradeço também à equipe administrativa, biblioteca e laboratórios, que sempre estiveram disponíveis para auxiliar em minhas necessidades acadêmicas.

Aos membros da banca avaliadora, pela disposição em analisar e contribuir para o aprimoramento deste trabalho, agradeço imensamente por suas valiosas contribuições e sugestões.

À minha família e amigos, sou profundamente grato pelo amor, incentivo e apoio incondicional em cada fase desta jornada. Seus encorajamentos foram minha fonte de inspiração e motivação para superar os desafios que surgiram no caminho.

Aos colegas de laboratório e de curso, agradeço pela troca de conhecimentos, debates construtivos e companheirismo ao longo de todo o processo. Suas contribuições foram fundamentais para o desenvolvimento das minhas ideias e para o amadurecimento das minhas habilidades de pesquisa.

Por fim, dedico um agradecimento especial a minha esposa Camila e meus filhos João e Maria.

Este trabalho não teria sido realizado sem a colaboração e o apoio dessas pessoas e instituição mencionada. Cada um de vocês desempenhou um papel fundamental na concretização deste sonho, e serei eternamente grato.

Muito obrigado a todos!

RESUMO

A planta de amendoim necessita de um suprimento constante de boro durante todas as etapas do seu crescimento, principalmente da floração à colheita, visto que esse elemento é muito importante para o desenvolvimento dos nódulos radiculares, produção de proteínas, retenção das flores, aprimoramento da utilização do cálcio, e translocação de açúcares e proteínas das folhas até os grãos. Tendo em vista que trabalhos que analisaram a influência do boro aplicado diretamente em sementes de amendoim ainda são muito escassos, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a germinação, os componentes de parte aérea e raiz do amendoim em razão das doses de adubação com Boro via tratamento de semente na cultura do amendoim. O experimento foi conduzido entre os meses de fevereiro de 2023 a abril de 2023 no Laboratório de Botânica da Faculdade de Engenharia e Biossistema da Unesp, em Tupã, SP. Foram avaliadas cinco doses de boro, com aplicações via tratamento de semente, utilizando como fonte o Ácido Bórico (17% de B). Os tratamentos foram os seguintes: 1 - Testemunha (sem adubação boratada); 2 - 20 mg de B por kg de semente de B; 3 - 40 mg de B por kg de semente de B; 4 - 60 mg de B por kg de semente de B; 5 - 80 mg de B por kg de semente de B; 6 - 100 mg de B por kg de semente. O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, com quatro repetições. Concluiu-se que conforme se aumentou a dose de ácido bórico no tratamento de semente de amendoim, diminuiu-se a germinação da mesma, entretanto, por mais prejudicial que as doses de ácido bórico tenham sido para a fase de germinação, no tratamento 4 (60 mg/Kg semente), as plântulas tiveram um maior desenvolvimento quando comparadas entre si, demonstrando valores extremamente significativos. Além disso, os modelos ANFIS tiveram valores do coeficiente de determinação (R^2) todos superiores a 0,80, enquanto nos modelos de regressão, ficaram entre 0,26 a 0,82. Todos demais índices ANFIS apresentaram menores erros e, portanto, desempenho superior ao modelo de regressão. Isso demonstra a capacidade de aprendizado do modelo, que entende a distribuição de dados de acordo com suas próprias características, permitindo a obtenção de valores com erros pequenos ou inexistentes.

Palavras-chave: Boro. Amendoim. Germinação.

ABSTRACT

The peanut plant needs a constant supply of boron during all stages of its growth, especially from flowering to harvest, as this element is very important for the development of root nodules, protein production, flower retention, improved calcium utilization, and translocation of sugars and proteins from leaves to grains. Due to the fact that studies that analyzed the influence of boron applied directly to peanut seeds are still very scarce, the present work aims to evaluate the germination, the aerial part and root components of the peanut due to the doses of Boron fertilization via seed treatment in the peanut crop. The experiment was conducted between February 2023 and April 2013 at the Botany Laboratory of the Faculty of Engineering and Biosystems at Unesp, in Tupã, SP. Five doses of boron were evaluated, with applications via seed treatment, using boric acid (17% of B) as a source. The treatments were as follows: 1 - Control (without borate fertilization); 2 - 20 mg of B per kg of B seed; 3 - 40 mg of B per kg of B seed; 4 - 60 mg of B per kg of B seed; 5 - 80 mg of B per kg of B seed; 6 - 100 mg of B per kg of seed. The experimental design used was randomized blocks, with four replications. It was concluded that as the dose of boric acid was increased in the treatment of peanut seed, germination was reduced, however, however harmful the doses of boric acid were for the germination phase, in treatment 4 (60 mg/Kg seed), the seedlings had a greater development when compared to each other, demonstrating extremely significant values. In addition, the ANFIS models had values of the coefficient of determination (R^2) all greater than 0.80, while in the regression models, they were between 0.26 and 0.82. All other ANFIS indices showed lower errors and, therefore, superior performance than the regression model. This demonstrates the model's learning capacity, which understands the distribution of data according to its own characteristics, allowing the obtaining of values with small or non-existent errors.

Keywords: Boron. Peanut. Germination.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Correlação entre as variáveis Altura parte aérea, Tamanho raiz (cm) e Peso parte aérea (g).	36
Tabela 2: Comparações entre as médias dos tratamentos, para cada variável, pelo teste de Tukey com nível de significância 5%.	39
Tabela 3: Resultados das análises de regressões quadráticas ($y = a_0 + a_1x + a_2x^2$) para cada variável.	40
Tabela 4: Parâmetros das funções de pertinência da variável de entrada Ácido Bórico de acordo com cada variável de saída.	46
Tabela 5: Limites inferior e superior das variáveis envolvidas no modelo.	49
Tabela 6: Coeficientes associados às variáveis de entrada e termo independente para a composição de cada regra do modelo elaborado.	50
Tabela 7: Índices de verificação da qualidade do modelo neuro-fuzzy (ANFIS) quando comparado com o modelo de regressão linear.	53

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Produção brasileira de amendoim 2011/2021.	15
Figura 2: Exportações de óleo de amendoim do Brasil, de 2018 a 2022.	16
Figura 3: Exportações de amendoim em grão por município em 2022.	17
Figura 4: Tratamentos de sementes de amendoim.	28
Figura 5: Função de pertinência generalizada em forma de sino das variáveis de entrada dos modelos propostos.	31
Figura 6: Arquitetura típica de um modelo ANFIS (BENINI, 2007).	32
Figura 7: Correlação de Person para as medidas do amendoim.	36
Figura 8: Gráficos tipo Box-Plot de todas as variáveis em estudo.	37
Figura 9: Intervalos de germinação versus tratamentos (com intervalo de confiança de 95% da média) para todas as variáveis em estudo.	39
Figura 10: Ajuste polinomial quadrático gerado pelas análises de regressão para todas as variáveis em estudo.	40
Figura 11: Comparativo entre T1 e T4.	43
Figura 12: Delimitadores das funções de pertinência das variáveis de entrada após a modelagem neuro-fuzzy (ANFIS).	47
Figura 13: Erros gerados durante o processo de treinamento do modelo ANFIS. ...	48
Figura 14: Visão geral dos modelos neuro-fuzzy (ANFIS) para obtenção das 5 saídas dos modelos.	51
Figura 15: Curvas bidimensionais geradas para cada modelo fuzzy.	52
Figura 16: Valores preditos pelo modelo ANFIS em comparação com valores reais da variável de saída.	54

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	14
2.1	O AMENDOIM	14
2.2	GERMINAÇÃO E BORO.....	20
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	27
3.1	MÉTODO DE REALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO AGRONÔMICO	27
3.2	MÉTODO DE ANÁLISE ESTATÍSTICA DAS VARIÁVEIS E ANÁLISE DE REGRESSÃO	30
3.3	MÉTODO DE ELABORAÇÃO DOS MODELOS NEURO-FUZZY ANFIS.....	30
3.4	VALIDAÇÃO DOS MODELOS	35
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	36
4.1	ANÁLISE ESTATÍSTICA E REGRESSÃO POLINOMIAL	36
4.2	MODELAGEM NEURO-FUZZY	45
5	CONCLUSÃO.....	55
	REFERÊNCIAS	56

1 INTRODUÇÃO

O amendoim tem origem na América do Sul, mais especificamente na região que engloba o Brasil, Paraguai, Uruguai e Argentina. Foi cultivado e consumido por muitas culturas indígenas antes de se espalhar para outras partes do mundo. Acredita-se que seu cultivo tenha começado há milhares de anos, pois foram encontrados vestígios de amendoim em sítios arqueológicos datados de 7.600 anos atrás. Hoje em dia, o amendoim é cultivado em muitos países ao redor do mundo e é utilizado em vários pratos e produtos alimentícios (ONEMLI F. 2012)

O amendoim tem uma enorme importância econômica em muitas partes do mundo, sendo uma das principais culturas oleaginosas e de grãos. Suas sementes são ricas em óleo e proteínas, o que as torna uma fonte valiosa de nutrientes e energia para os seres humanos e animais (BELLETINI & ENDO, 2001).

Alimentação humana: O amendoim é amplamente consumido em todo o mundo como alimento. Ele é usado em diversas formas, como lanches, manteiga de amendoim, óleo de amendoim, farinha de amendoim, entre outros produtos alimentares. Sua disponibilidade e valor nutricional tornam-no uma opção acessível e rica em proteínas para muitas pessoas, especialmente em regiões onde outros alimentos de origem animal são escassos ou caros.

Alimentação animal: Além de ser uma importante fonte de alimento para seres humanos, o amendoim também é usado na ração animal, fornecendo proteínas e energia para animais de criação, como aves, suínos e gado.

Óleo de amendoim: O óleo extraído das sementes de amendoim é usado na culinária, bem como na fabricação de produtos alimentares e industriais. O óleo de amendoim é uma alternativa mais barata ao óleo de oliva, por exemplo, e é usado em diversos processos industriais.

Exportação e comércio internacional: Muitos países cultivam o amendoim em grande escala para fins de exportação. O comércio internacional de amendoim é uma importante fonte de receita para os países produtores, gerando divisas e impulsionando suas economias.

Indústria de doces e confeitaria: O amendoim é um ingrediente popular em muitos doces e produtos de confeitaria, como barras de chocolate com amendoim,

caramelos, doces, entre outros. Isso contribui para a indústria de alimentos e cria oportunidades de negócios para muitos fabricantes.

Produção de biodiesel: O óleo de amendoim também é usado na produção de biodiesel, uma fonte alternativa de combustível renovável que tem um papel crescente no cenário energético global.

Devido à sua diversidade de usos e demanda global, o amendoim é cultivado em várias regiões, tornando-se uma cultura agrícola de importância econômica significativa para muitos países produtores e exportadores. A indústria do amendoim também gera empregos diretos e indiretos, contribuindo para o crescimento econômico e o desenvolvimento das comunidades agrícolas (CONAB, 2022a).

O cultivo de amendoim é significativo no estado de São Paulo, Brasil, e Tupã é uma das regiões produtoras dessa cultura no estado.

São Paulo é o principal produtor de amendoim no Brasil e possui condições climáticas e de solo adequadas para o cultivo dessa cultura. O amendoim é cultivado em várias regiões do estado, incluindo municípios como Tupã.

Tupã é uma cidade localizada no interior do estado de São Paulo e é conhecida por sua produção agrícola diversificada, incluindo o cultivo de amendoim. A região possui terras férteis e um clima propício para o desenvolvimento dessa cultura, o que a torna uma área estratégica para a produção de amendoim no estado (CRUSCIOL & SORATTO, 2007).

O cultivo de amendoim em Tupã e em outras regiões de São Paulo é uma atividade importante para a economia local, gerando empregos e contribuindo para a renda agrícola da região. A produção de amendoim também contribui para a indústria de alimentos e a exportação, impulsionando a economia do estado e do país como um todo. Além disso, o amendoim é uma cultura que se adapta bem a sistemas de rotação de culturas, o que contribui para a sustentabilidade e manejo agrícola adequado das terras. FERRARI NETO *et al.*, 2013).

O óleo de amendoim é extraído a partir das sementes de amendoim e é amplamente utilizado na culinária, na indústria de alimentos e na produção de biodiesel. Devido ao seu alto valor nutricional e diversas aplicações, o óleo de amendoim é um produto de interesse tanto para o mercado doméstico quanto para exportação (CONAB, 2022a).

Os principais países exportadores de óleo de amendoim, em geral, são aqueles com produção significativa de amendoim e capacidade industrial para extrair e

processar o óleo. Brasil, China, Estados Unidos, Índia e Argentina estão entre os principais produtores e exportadores de óleo de amendoim.

As exportações de óleo de amendoim são influenciadas por diversos fatores, como oferta e demanda globais, preços internacionais das commodities, acordos comerciais, políticas governamentais, entre outros. Além disso, as condições climáticas e a produção de amendoim em diferentes países também podem impactar a disponibilidade e os preços do óleo de amendoim no mercado internacional (BOLONHEZI et al., 2013; VASCOCELOS et al., 2015).

Para informações mais atualizadas sobre as exportações de óleo de amendoim e a situação específica do Brasil como exportador, é recomendável consultar fontes oficiais do governo, relatórios de comércio exterior e organizações relacionadas ao setor de agronegócio e alimentos. Essas fontes podem fornecer dados atualizados e análises sobre as tendências recentes nas exportações de óleo de amendoim e outros produtos agrícolas.

Quanto à classificação das variedades de amendoim, elas podem ser divididas principalmente em dois tipos com base no hábito de crescimento:

Amendoim ereto: Essa variedade possui um hábito de crescimento mais vertical, com o caule principal se desenvolvendo de forma ereta. Isso pode torná-lo mais fácil de cultivar e colher, mas pode exigir mais espaço entre as plantas.

Amendoim rasteiro: Esse tipo de amendoim tem um hábito de crescimento mais horizontal, com caules que se espalham pelo solo. Essa variedade pode ser vantajosa em termos de cobertura do solo e pode ser cultivada em áreas com espaço limitado.

A produtividade do amendoim depende de vários fatores, como o tipo de solo, a quantidade de luz solar, a disponibilidade de água e o manejo agrícola adequado. Em geral, o amendoim é uma cultura relativamente resistente e pode ser cultivado em muitas regiões do mundo com condições adequadas de cultivo. (MARQUES; LOURENZANI; VIEIRA, 2020).

Em relação as doses de boro aplicadas em culturas, incluindo o amendoim, podem variar dependendo das condições específicas do solo, das práticas agrícolas e das necessidades da planta. O boro é um micronutriente essencial para o desenvolvimento adequado do amendoim e é importante para a formação das vagens e sementes (PIERRE, 2019).

As recomendações de doses de boro para o amendoim geralmente estão presentes em estudos de pesquisa agrícola e são estabelecidas por institutos de

pesquisa e extensão agrícola, como universidades e órgãos governamentais. As doses ideais de boro podem variar de acordo com a variedade do amendoim, o tipo de solo, o histórico de adubação e outras condições locais.

Uma dose comum de boro para o amendoim é em torno de 1 kg/ha de boro aplicado no solo ou via foliar, em momentos específicos do desenvolvimento da cultura. No entanto, é importante ressaltar que as recomendações exatas de adubação com boro podem variar dependendo da região e das especificidades de cada sistema de cultivo. (SALATI et al., 2022).

O boro apresenta destaque nos processos de germinação do amendoim, sendo um nutriente muito relevante que auxilia na transferência de nutrientes e açúcares das folhas aos frutos, além de aumentar o desenvolvimento das sementes.

O amendoim precisa de um suprimento de boro, principalmente nas fases de germinação e desenvolvimento das suas vagens, sendo que a escassez desse micronutriente ocasiona redução na qualidade e na produção.

Reconhecido, universalmente, como o micronutriente boro (B) é de grande relevância para a cultura do amendoim, embora sua exigência seja menor quando comparada ao cultivo de outras leguminosas. Ele atua em todas as fases de desenvolvimento da planta, principalmente na floração e desenvolvimento das vagens. (YAMADA, 2000).

O ácido bórico tem papel relevante, também, no transporte de açúcares, na divisão celular, na resistência das paredes celulares e no desenvolvimento dos frutos e sementes, garantindo boa germinação.

Diante de tais fatos, observa-se a importância de se obter um número maior de dados sistematizados que possam trazer conhecimento sobre a produtividade desse grão, como os relacionados à germinação do amendoim com doses de ácido bórico. Os estudos já realizados são pontuais e escassos, não apresentando um suporte técnico-científico suficiente para que se compreenda de maneira clara a influência do boro no processo de germinação (PRADO, 2020).

Nesse sentido, visando obter mais informações para ampliar a discussão e encontrar soluções para a melhoria da produtividade do amendoim, o objetivo desta pesquisa é avaliar a germinação, os componentes de parte aérea e raiz do amendoim em razão das doses de adubação com Boro via tratamento de semente da cultivar IAC 505.

A justificativa da escolha desse tema está relacionada ao fato de que nossa região por conta do solo predominantemente arenoso, ou seja, baixas concentrações de Boro, por conta de importância econômica da cultura do amendoim em nossa região e pelo suprimento desse micronutriente na cultura, contribuindo, assim, para uma melhor estimativa de produtividade.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 O AMENDOIM

A origem do amendoim é incerta. Segundo alguns historiadores, é oriundo da América do Sul, de países como Argentina, Bolívia, Brasil, Peru ou Leste dos Andes, sendo muito utilizado pelos indígenas. Trabalhos como potes e vasos de barro – encontrados em formato de amendoim – reforçam essa tese. Nos túmulos dos Incas foram encontrados potes com amendoins com o propósito de oferecer aos mortos alimento para a passagem para outra vida. Na ocasião do descobrimento do Brasil, os portugueses perceberam que o amendoim já era cultivado pelos povos indígenas, sendo denominado de ‘mani’, que em tupi guarani significa ‘enterrado’ (MARTIN, 1985).

O amendoim (*Arachis hypogaea* L.) é uma dicotiledônea, pertencente à família *Fabaceae*, subfamília *Papilionoideae*, gênero *Arachis*, considerada uma das oleaginosas mais produzidas mundialmente, que apresenta em média 80 espécies no Brasil. Suas propriedades nutritivas, enquanto fonte de proteína vegetal e oleica, são características importantes que fazem essa leguminosa ser conhecida ao redor do mundo, tendo seu cultivo e consumo explorados nas mais diversas etnias e populações (MARTIN, 1985).

A espécie se divide em duas subespécies, *hypogaea* e *fastigiata*, que se distinguem entre si, basicamente, quanto ao hábito de crescimento, ciclo, tamanho da semente e presença de flor na haste principal (EMBRAPA, 2009).

Caracteriza-se por ser uma planta herbácea, com caule pequeno e folhas compostas e pinadas, contendo quatro folíolos de formato elíptico e com inserção alternada. O amendoim possui abundante indumento, raiz medindo entre 30–50 cm de profundidade, com flores pequenas e amareladas que, depois de fecundadas, penetram no solo, com a ajuda de uma estrutura denominada ginóforo e de um fenômeno conhecido como geocarpia, onde os frutos se desenvolvem subterraneamente (OLIVEIRA *et al.*, 2021).

O cultivo de grãos é um importante segmento da agricultura brasileira, sendo que em volumes, o Brasil é um dos líderes mundiais na produção e exportação de soja em grão, com o feijão tendo grande relevância no atendimento do consumo

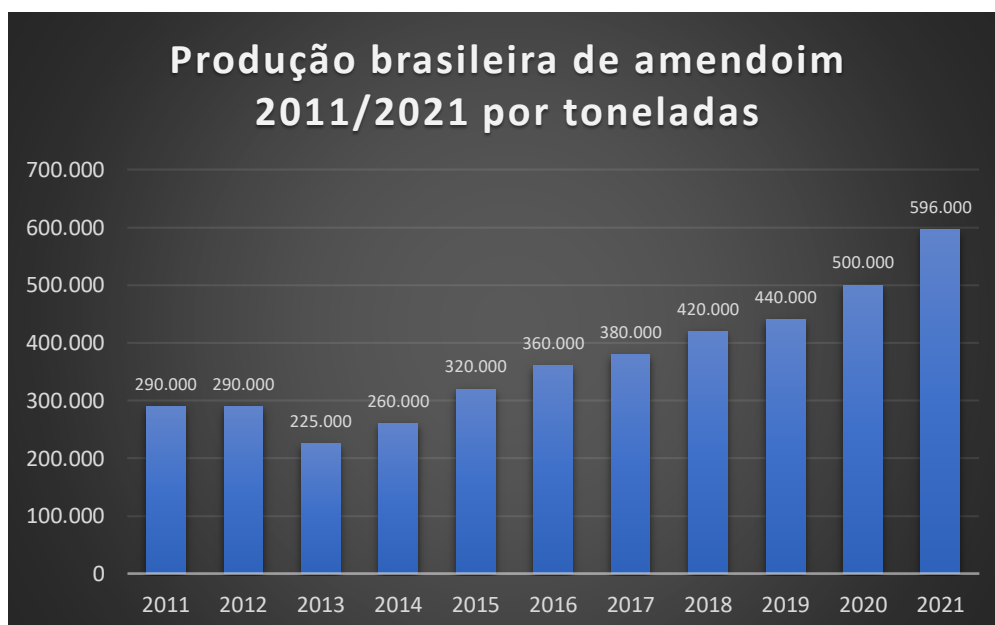
interno. Entretanto, o amendoim tem conquistado um lugar de destaque entre as culturas de grãos nacionais. Essa leguminosa vem cada vez mais sendo explorada, pois, por ser uma leguminosa, tem a habilidade de fixar nitrogênio ao solo através da simbiose com bactérias, o que melhora a fertilidade do solo. Esse nutriente e outros obtidos por intermédio de sua palha residual favorecem outras culturas como a cana-de-açúcar, constituindo-se em uma boa alternativa para a rotação de culturas, sendo que as áreas de renovação de pastagens também fazem parte do processo de produção do amendoim (CONAB, 2022a).

De acordo com dados do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC, 2022) a rotação de culturas é uma prática agronômica amplamente utilizada para melhorar a produtividade do solo, reduzir o risco de pragas e doenças e promover o uso mais sustentável dos recursos agrícolas. A combinação de rotação de culturas entre amendoim e cana-de-açúcar pode oferecer vários benefícios agronômicos.

Um levantamento feito pelo Departamento do Agronegócio da Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (DEAGRO, 2020) apontou que em 2011 o Brasil vendeu amendoim para 56 mercados, aumentando para 100 mercados em 2020, tendo como o principal produto exportado o amendoim em grão com a porcentagem de 73%, como também o óleo do amendoim, correspondendo a 22%.

A Figura 1 apresenta o crescente aumento da produção brasileira de amendoim nos últimos 10 anos:

Figura 1: Produção brasileira de amendoim 2011/2021.

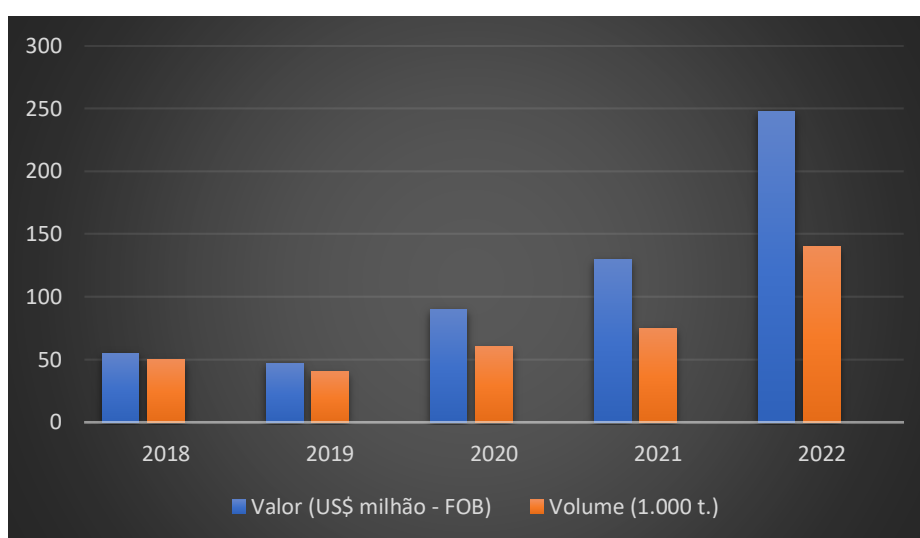


Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados do CONAB (2022b).

O mesmo documento apontou que, no ano de 2019, a importação global de amendoim resultou em US\$ 3,3 bilhões, sendo 7% desse resultado pertencente ao Brasil. No mesmo ano, o óleo de amendoim movimentou, no comércio global, US\$ 439,4 milhões, tendo o Brasil uma participação correspondente a 13% desse resultado (DEAGRO, 2020).

A Figura 2 apresenta os valores e volume das exportações de óleo de amendoim do Brasil nos últimos 5 anos:

Figura 2: Exportações de óleo de amendoim do Brasil, de 2018 a 2022.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados de Sampaio (2023) e IEA (2023)

Esses dados evidenciam a importância econômica do amendoim para o Brasil, e sugerem ainda um potencial que pode ser mais explorado.

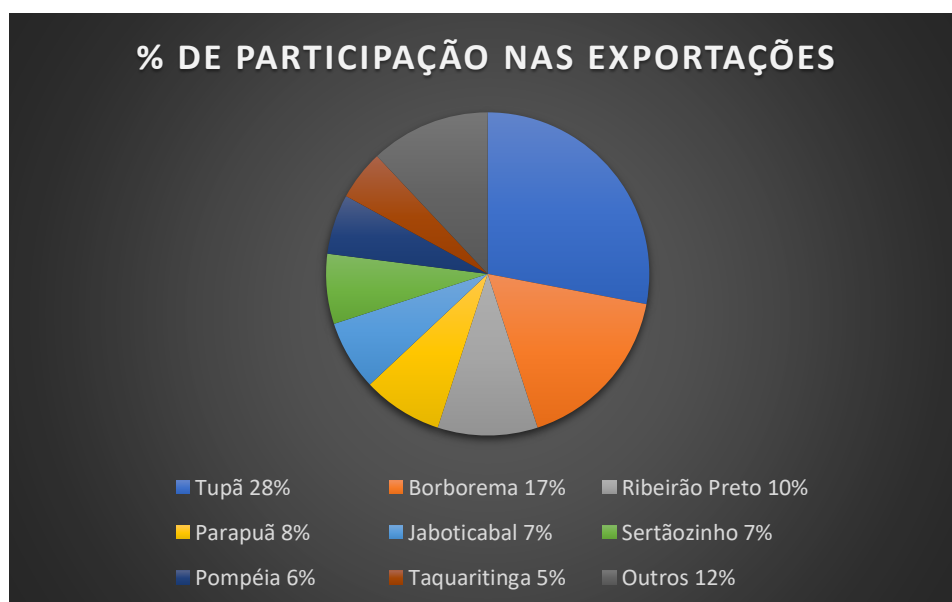
De acordo com Marques, Lourenzani e Vieira (2020), a partir do ano de 2007, notou-se um aumento na participação do amendoim em exportações, o que indica que ocorreu um melhoramento na qualidade dos grãos do Brasil. Os autores apontam que esse aumento na produção também se deve ao crescimento apresentado pela região Sudeste nos últimos anos, a qual se mostra como a região com maior produção e importância para o cultivo do amendoim (MARQUES; LOURENZANI; VIEIRA, 2020).

O contexto das exportações do grão está relacionado com a dinâmica socioeconômica das regiões produtoras e dos municípios paulistas que beneficiam e exportam as mercadorias da cadeia de produção. Em 2022, o município de Tupã foi responsável por 28% dos valores exportados, seguido por Borborema com 17%, e que

juntos com municípios de Jaboticabal (7%), Sertãozinho (7%), Pompéia (6%) e Taquaritinga (5%) cumprem com frequência e regularidade a pauta de exportações do amendoim em grão. Já os municípios de Ribeirão Preto, com 10% das exportações em 2022, e de Parapuã com 8%, incrementaram suas operações, principalmente a partir de 2021 (IEA, 2023).

A Figura 3 ilustra as exportações de amendoim em grão por cidade paulista.

Figura 3: Exportações de amendoim em grão por município em 2022.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados do IEA (2023) e Sampaio (2023).

Dados do Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA, 2021) apontam que no estado de São Paulo, entre os anos de 2016 e 2020, a exportação do grão teve um aumento de 245%, passando de 106 mil toneladas para 259 mil toneladas. O município de Tupã respondeu por 26% do total exportado de amendoim em grão no estado, tendo Holanda, Ucrânia e Rússia como os principais compradores (CEPEA, 2021).

Um importante agente na cadeia de produção do amendoim na microrregião de Tupã são os intermediários, responsáveis pela realização do comércio do amendoim, em especial entre os produtores de menor porte e as indústrias, tanto na região como também no estado. Também merecem destaque a presença de cooperativas de produtores, beneficiadores, exportadores e a comercialização interna do amendoim (MARQUES; LOURENZANI; VIEIRA, 2020).

Contudo, com o aumento dos conflitos no Leste europeu envolvendo Rússia e Ucrânia, as exportações do amendoim têm enfrentado problemas, visto que esses são importantes compradores deste produto brasileiro. Em decorrência do fechamento dos portos e das sanções aos bancos russos, a mercadoria acaba encontrando entraves nos portos da Rússia e Turquia, com destino à Ucrânia. Tem aumentado, também, o receio de não ocorrer o pagamento aos produtores, por conta do bloqueio da moeda russa, e o cancelamento de contratos. Com a demanda baixa, uma desvalorização da saca do amendoim acaba ocorrendo, sendo que o valor estava na média de R\$ 96,52 no ano de 2021, e foi para R\$ 65 a R\$ 70 em 2022 (SALATI, 2022).

Apesar de se ter estimado que a área de plantio da próxima safra no mês de novembro seja reduzida, pelo fato de insumos utilizados no cultivo de amendoim serem de origem russa (RIVERA, 2022), as expectativas sobre as exportações para a Rússia não se confirmaram e o óleo de amendoim representou um fator importante na pauta de exportações da cadeia de produção do amendoim.

De acordo com pesquisas realizadas pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2009), o ciclo da cultura do amendoim exige uma taxa de chuvas de 500 mm a 700 mm.

De acordo com a Estação Meteorologia instalada no campus da Unesp Tupã as chuvas pontuais que caracterizam a região da Alta Paulista foram menores que o esperado para o período da safra 2021/2022m, sendo importante considerar que a precipitação pontual ideal possibilita o florescimento das plantas durante o período crítico para pegamento das vagens e enchimento dos grãos. Aliado a isso, as temperaturas altas que caracterizam a referida região também podem se constituir em fatores que prejudicam a produtividade (FILHO *et al.*, 2022).

De acordo com dados da Estação Meteorologia instalada no campus da Unesp Tupã, no período referente a 2021/2022, a chuva acumulada foi de 854,3 mm na região de Marília/SP, 1000,2 mm na região de Tupã/SP, 472,9 mm na região de Lins/SP e 783,5 mm na região de Presidente Prudente/SP. O déficit acumulado correspondeu a 422,5 mm na região de Marília, 444,7 mm na região de Tupã, 491,4 mm na região de Lins e 471,9 mm na região de Presidente Prudente.

Produtores apontam que já era prevista uma queda de 15% no volume de produção do amendoim no Estado de São Paulo, por conta da falta de chuva. A indústria pretende expandir o mercado ou adentrar em outras áreas, como exemplo a

comercialização do óleo de amendoim, para não perder o amendoim que foi colhido (SALATI, 2022).

Nesse sentido, o plano das indústrias é de longo e médio prazo, contendo possíveis reforços, envolvendo o reforço do mercado interno, que teve queda devido à pandemia; o reforço na exportação do óleo de amendoim; o reforço nos mercados em que o Brasil não possui tanto alcance, como o mercado chinês, por exemplo. Pensa-se, também, em reforçar o mercado em que a exportação do amendoim brasileiro já está estabelecida, como no continente europeu e países como Argélia. A capacidade de armazenamento do Brasil é um fator que preocupa, pela impossibilidade de não comportar toda a produção pelo período de um ano (DEAGRO, 2020).

A importância econômica obtida através do cultivo do amendoim presente na região da Alta Paulista tem apresentado a necessidade de se estudar o que pode interferir positivamente na produtividade do amendoim.

A preocupação com a resistência das cultivares a pragas e o tempo em que esse fenômeno se desenvolve são também pontos a se analisar quando se trata de produtividade. Filho *et. al.* (2008) demonstraram isso ao analisarem quatro tipos de cultivares sob ataque de tripes-do-bronzeamento (*Enneothrips flavens*), no município de Jaboticabal/SP, em que verificaram que a suscetibilidade dos tipos IAC-Tatu-ST, IAC-5, IAC-8112 e IAC-22 ao ataque da *E. flavens* é grande em altas populações, assim como o desenvolvimento da mesma ocorre por volta de 15 a 41 dias após a emergência das plantas.

O clima também é um fator relevante para a produtividade do amendoim. De acordo com Vasconcelos *et. al.* (2015), o genótipo L7 Bege, BRS 151 L7 e CNPA 280 se mostraram resistentes, adaptáveis e produtivos em regiões com solos arenosos como Centro-Oeste e Nordeste. Já ensaios realizados por Santos *et. al.* (2013) indicam que experimentos realizados em seis ambientes e três safras localizadas na região Nordeste, no período considerado das águas, indicaram que os genótipos BRS Pérola Branca e LViPE-06 apresentaram-se como os mais estáveis e adaptáveis ao ambiente semiárido.

Bolonhezi *et al.* (2020) afirmam que as ocorrências de veranicos geram um impacto negativo no rendimento das safras de amendoim. Concluíram, também, que fatores como o tipo de solo com horizonte de classificação Bt e o declive nas áreas de

cultivo do amendoim afetam de forma negativa sua produtividade na região da Alta Paulista.

Sampaio (2016) aponta que um dos desafios na produção de amendoim encontra-se na relação que esta tem com a produção de cana-de-açúcar, evidenciando, assim, a necessidade de uma melhor análise sobre a desenvoltura das tecnologias de produção presentes na Alta Mogiana e Alta Paulista, e se as tecnologias estão realmente adaptadas às diferentes condições que demandam as áreas de renovação da cana-de-açúcar. Enfatiza, ainda, o melhoramento de máquinas e implementos voltados ao plantio e colheita nos sistemas de produção de amendoim, sendo práticas conservacionistas ou de plantio direto, como também o desenvolvimento de sementes certificadas.

Tais constatações podem ser relevantes na adaptação dessas cultivares para a região da Alta Paulista em períodos em que ocorra instabilidade no clima, pois a deficiência hídrica, a falta de resistência das cultivares a pragas, o uso de sementes não certificadas e a dosagem de micronutrientes, como o ácido bórico, são fatores que influenciam na germinação e produtividade da cultura de amendoim.

2.2 GERMINAÇÃO E BORO

A semente do amendoim, após a semeadura, deve encontrar condições favoráveis de temperatura e umidade para sua germinação e emergência. A velocidade de germinação atinge níveis ideais sob temperaturas entre 25°C e 35°C. O crescimento inicial da planta se dá por meio da reserva de material dos cotilédones, que se esgotam entre 10 e 15 dias após a emergência, até murcharem e caírem, sendo que a partir daí, o hipocótilo cresce e leva os cotilédones para fora do solo, ao mesmo tempo em que estes protegem a gema apical juntamente com os folíolos já formados. A emergência da planta se dá em cerca de 5 a 8 dias após a semeadura. A partir da radícula, inicia-se também o desenvolvimento do sistema radicular da planta (EMBRAPA, 2009).

A profundidade do posicionamento da semente é muito importante, pois ao ser colocado em profundidade excessiva, o desenvolvimento da planta é prejudicado pela necessidade do uso do material dos cotilédones apenas para a fase de emergência,

prejudicando a qualidade do desenvolvimento da planta em seus estágios iniciais, sem contar a possibilidade de muitas plantas não conseguirem emergir (EMBRAPA, 2009).

Por outro lado, a semeadura feita próxima à superfície, embora acelere a emergência, pode comprometer a germinação, caso falte umidade no solo, devido à rápida secagem da camada superficial do solo, principalmente em se tratando de solos arenosos. Em semeadura rasa, ao se aplicar herbicida, a semente pode ser contaminada por esse produto. Se o plantio for feito em grande profundidade sofrer mais ataque de pragas e até inibição da germinação, assim sendo a profundidade média ideal a de 5 cm (EMBRAPA, 2009).

Além da temperatura, luz, substrato, entre outros, a germinação do amendoim depende muito do processo de absorção de água, visto que a semente deve atingir um teor mínimo de umidade, que varia com a espécie (POPINIGIS, 1985). Testes de germinação em laboratório demonstram que o substrato deve ser suficientemente úmido para garantir o crescimento do embrião, sendo que a falta ou excesso de umidade pode resultar em efeito negativo sobre a germinação (MARCOS FILHO; CÍCERO; SILVA, 1987).

No processo de germinação do amendoim, o boro também merece destaque, constituindo-se em um nutriente essencial que também auxilia na transferência de açúcares e nutrientes das folhas até os frutos e aumenta a polinização e o desenvolvimento das sementes (FURLANI *et al.*, 2001).

O amendoim exige um suprimento disponível de boro, em especial durante a fase de germinação e de desenvolvimento das vagens, cuja escassez causa redução na qualidade e na produção. O boro (B) em solos arenosos é reconhecido como o micronutriente mais importante para a produção de amendoim, haja vista os níveis nos solos apresentarem baixíssimos níveis, mas o requisito de boro para os amendoins não é tão alto quanto para algumas outras espécies leguminosas. Embora o boro seja essencial para todas as fases de crescimento da planta, um suprimento disponível é mais importante durante a floração e o desenvolvimento das vagens, sendo que isso vale especialmente para as variedades de alto rendimento da atualidade (FOLONI *et al.*, 2016).

A resistência das paredes celulares, a divisão celular, o desenvolvimento de frutos e sementes, o transporte de açúcares e, conseqüentemente, uma boa germinação são funções das plantas relacionadas à utilização do boro, sendo que benefícios na germinação e no aumento da qualidade desse grão já foram observados

com aplicações desse nutriente (CAMACHO-CRISTÓBAL; REXACH; GONZÁLEZ-FONTES, 2008; BETIOL *et al.*, 2020).

Sendo o principal micronutriente requerido pela cultura do amendoim e o micronutriente mais limitante para sua produção, De acordo com Camacho-Cristóbal, Rexach e González-Fontes (2008) apontam que a relevância do boro decorre do fato de sua participação nos processos de manutenção da estrutura da parede celular e da membrana plasmática, e na formação das estruturas reprodutivas nas plantas, grãos de pólen e tubo polínico. Dito de maneira mais pormenorizada, o boro é importante na divisão e alongação celular, na germinação do pólen, alongação do tubo polínico e fecundação, garantindo a formação do fruto ou semente, sendo fator determinante da produção (FURLANI *et al.*, 2001).

O boro amplia o pegamento de flores e a granação, propiciando menor esterilidade masculina e menor chochamento de grãos, sendo que a exigência nutricional das plantas cultivadas se torna mais intensa com o início da fase reprodutiva, visto que as lavouras se encontram em pleno desenvolvimento vegetativo, aliado à forte demanda por nutrientes para a formação das estruturas reprodutivas (MALAVOLTA, 2006).

Por isso, a deficiência de boro causa uma rápida inibição na formação de novos tecidos, em razão da função que exerce na composição da parede celular, divisão celular, alongação celular, metabolismo e transporte de carboidratos (FURLANI *et al.*, 2001).

A carência de boro é muito comum em solos tropicais, principalmente nos mais arenosos e pobres em matéria orgânica, o que tem provocado grandes perdas de produtividade em diversas culturas. No Brasil, o amendoim é cultivado principalmente em ambientes de solos arenosos, com teor de boro abaixo do nível crítico, sendo os teores observados entre 0,05 e 0,3 mg/dm³) ou seja, na maioria das vezes há necessidade de aplicação de boro via fertilizantes. O boro influencia na produtividade e qualidade final da produção do amendoim especialmente em áreas de solo com textura arenosa devido à lixiviação (FOLONI *et al.*, 2016).

Um estudo de Harris e Gilman (1957) apontou que a deficiência de boro no amendoim causa danos internos nos grãos devido à deformação e descoloração dos cotilédones, e má formação de sementes nas vagens da planta, reduzindo o peso, a qualidade de sementes e a produtividade de grãos. Tal deficiência também afeta direta e negativamente no crescimento radicular e na fertilidade das flores, resultando em

menor número de vagens por planta. Dessa forma, plantas de amendoim com nutrição suficiente de boro, além de apresentarem maior produtividade e qualidade de sementes, são mais tolerantes à seca devido à melhor exploração do solo via sistema radicular.

Os sintomas da deficiência de boro do amendoim incluem lesões internas nos frutos denominadas 'coração oco', com os cotilédones se apresentando côncavos e desbotados. Tais lesões diminuem a qualidade e o valor da cultura, reduzindo, também, a produção e o teor de óleo dos amendoins (BETIOL, *et al.*, 2020).

No solo, o Boro é encontrado nos minerais silicatados, adsorvido em argilominerais, na matéria orgânica (MO) e nos hidróxidos de alumínio e ferro, o boro pode apresentar-se de maneira insuficiente em solos com textura áspera, em que o teor de matéria orgânica seja baixo, sendo necessária a realização de testes do solo e análises das plantas para avaliação da capacidade em potencial de fornecimento de boro do solo e no estado atual de boro da planta em crescimento (MARSCHNER, 1995).

No cultivo do amendoim, o período de maior exigência de boro é durante a etapa de enchimento de grãos, que ocorre entre o 90º e 100º dia após a emergência, sendo que não há a necessidade de realização de aplicações de boro após esse período, pois haverá baixo aproveitamento pela cultura (YAMADA, 2000).

Nas cultivares antigas de porte ereto, o nível crítico de boro nas folhas se situa entre 20 e 50 mg/kg, entretanto, estudos recentes indicam que o nível crítico para cultivares modernas tipo *Runner* é entre 40 e 75 mg/kg, quando as folhas são coletadas em pleno florescimento. O nível crítico de boro no solo é de 0,6 mg/dm³ (0-20 cm), sendo que no solo a forma predominante de boro é H³BO³ - ácido bórico – que, por ter carga zero, se perde facilmente por lixiviação (FOLONI *et al.*, 2016).

Em relação ao manejo da adubação boratada, as quantidades relativamente baixas de boro exigidas pela cultura em geral podem ser supridas através da adubação foliar, entretanto, a pouca mobilidade do boro nos tecidos vegetais pode representar um entrave à nutrição da planta, fazendo que sejam necessárias várias aplicações. Em contrapartida, ao contrário da adubação com micronutriente via solo, a adubação foliar possibilita aplicações mais uniformes por unidade de área e respostas relativamente mais rápidas, quando as lavouras se encontram em fases avançadas de desenvolvimento (MANTOVANI; CALONEGO; FOLONI, 2013).

O nível crítico de boro solúvel em água para amendoins na maioria dos solos varia de 0,2 a 0,5 ppm, dependendo do pH do solo, do teor da matéria orgânica e da textura, sendo que os solos que estiverem abaixo do nível crítico geralmente responderão ao boro aplicado. O nível crítico de boro nas folhas de amendoim maduras superiores é cerca de 25 ppm. Plantas de amendoim com teor de boro nas folhas abaixo do nível crítico devem ser pulverizadas uma ou mais vezes depois do início da floração e durante o desenvolvimento das vagens (YAMADA, 2000).

A planta de amendoim necessita de um suprimento constante de boro durante todas as etapas do seu crescimento, principalmente da floração à colheita, visto que esse elemento é muito importante para o desenvolvimento dos nódulos radiculares, produção de proteínas, retenção das flores, aprimoramento da utilização do cálcio, e translocação de açúcares e proteínas das folhas até os grãos (BETIOL *et al.*, 2020).

As quantidades de boro exigidas para a formação das sementes, na maioria das vezes, são maiores do que as exigidas para o crescimento vegetativo, por isso aumentos de produtividade com a adubação foliar podem ser alcançados, mesmo quando o solo em que se localiza a cultura apresente boa reserva de boro (MARSCHNER, 1995).

Em contrapartida, o excesso de boro - teor na folha superior a 80 mg/kg - causa a queima as folhas, reduzindo produtividade e qualidade fisiológica das sementes, o que implica na necessidade de se ter atenção quanto à dose, fonte, época e forma de aplicação de boro para evitar que ocorra toxicidade (CAMACHO-CRISTÓBAL; REXACH; GONZÁLEZ-FONTES, 2008).

A adubação boratada foliar pode ser uma estratégia viável para o fornecimento desse nutriente à cultura (BETIOL *et al.*, 2020), contudo, Foloni *et al.* (2016) apontam que a aplicação de boro via solo tem maior eficiência em relação à adubação via foliar, devido à baixa mobilidade que o boro apresenta na planta.

Em alguns casos, tem se observado incrementos de produtividade e qualidade de sementes com a associação da aplicação via solo mais foliar, sendo que isso se dá porque a principal forma de absorção de boro pelas plantas se dá pelo fluxo de massa, e em condições ambientais com seca ou sombreamento - vários dias com nebulosidade - o fluxo de massa é reduzido, o que diminui a absorção de boro via sistema radicular. Também é importante considerar que quando é utilizada dose de boro via solo menor que o recomendado pode haver resposta positiva com aplicação

via foliar de forma suplementar (CAMACHO-CRISTÓBAL; REXACH; GONZÁLEZ-FONTES, 2008).

Apesar de a adubação boratada via aplicação foliar ser uma estratégia viável para manter um teor adequado de boro nas plantas de amendoim, ainda são escassos os conhecimentos sobre doses seguras.

Nesse sentido, a pesquisa de Mantovani (2011) apontou que a aplicação foliar de $1,5 \text{ kg/ha}^{-1}$ de boro na cultura do amendoim em três épocas - 30, 45 e 75 dias após emergência -, apresentou incremento médio de 816 kg/ha^{-1} em relação ao controle.

Betiol *et al.* (2020) avaliaram os efeitos da aplicação de boro no amendoim em função de diferentes doses via foliar e concluíram que aplicações foliares de doses de boro entre 250 a 1.500 g/ha^{-1} aumentaram os teores de B nas folhas. No entanto, aplicações de boro não influenciaram a produtividade de vagens do amendoim, mesmo em solo com baixo conteúdo de B ($< 0,12 \text{ mg/dm}^3$). A partir disso, os autores recomendam a realização de mais pesquisas para entender o efeito da adubação boratada nos componentes de produção do amendoim.

Furlani *et al.* (2001), ao investigarem a exigência de boro em cultivares de soja, apontaram que deficiências de boro são muito comuns na agricultura brasileira, existindo lacunas no conhecimento sobre as diferenças entre espécies e cultivares quanto às exigências desse nutriente.

Após a realização do seu estudo, os autores afirmam que a absorção de boro está fortemente correlacionada com o pH do meio, porém, afirmam que as plantas, seletivamente, preferem a forma molecular não dissociada, que predomina em pH abaixo de 7. Assim sendo, concluem que o boro não compete com os nutrientes aniônicos como o fosfato e nem depende de energia da célula para entrar contra o potencial eletroquímico negativo predominante no interior dos vacúolos (FURLANI *et al.*, 2001)

As principais fontes de boro para aplicação via solo são a ulexita, ulexita acidulada, tetraborato de sódio, ácido bórico e octaborato de sódio. As três primeiras opções podem ser aplicadas sobre a área total antes da semeadura; as duas últimas opções podem ser utilizadas junto com o herbicida pré-emergente. Também existe a opção de utilizar o boro junto com o fertilizante formulado, aplicando no sulco de semeadura (MALAVOLTA, 2006). Na aplicação de boro via foliar, a mesma deve ser parcelada - entre três a quatro aplicações -, sendo a primeira aplicação na fase de pré florescimento e a última no enchimento de grãos (FOLONI *et al.*, 2016).

Para Foloni *et al.* (2016), a aplicação de boro no amendoim deve ser realizada, preferencialmente, via solo, porém, se optar-se pela adubação via foliar, a mesma deve ser parcelada, sendo que em casos de estresses ambientais, principalmente a seca, se tem observado vantagens da associação da aplicação de boro via solo + foliar, e a necessidade deve ser avaliada em função de cada talhão.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização do presente trabalho, foi utilizada uma abordagem quantitativa de natureza aplicada. Quanto aos objetivos propostos e em relação aos procedimentos, este estudo caracteriza-se como uma pesquisa de campo.

3.1 MÉTODO DE REALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO AGRONÔMICO

O experimento foi realizado no Laboratório de Botânica da Faculdade de Engenharia e Biossistema da Unesp, em Tupã/SP, entre os dias 12 de fevereiro de 2023 a 14 de abril de 2023.

Para a realização da pesquisa envolvendo a germinação de sementes de amendoim, foram utilizadas 24 bandejas com profundidade de 10 cm e com largura de 27 cm e comprimento de 58 cm, totalizando (1,566 metros quadrados).

As bandejas foram preenchidas com areia lavada fina, cujos grãos tinham diâmetros que variam de 0,05 milímetros e 0,42 milímetros, sendo que cada bandeja continha 80 sementes e cada repetição era constituída por 20 sementes. Assim, individualmente, cada um dos 6 tratamentos tinha 4 repetições, com 20 sementes cada. Não sendo realizada nenhuma correção do solo, e adubação de plantio.

Foram avaliadas cinco doses de boro, com aplicações via tratamento de semente, utilizando como fonte o Ácido Bórico (17% de B). Os tratamentos foram:

- 1 - Testemunha (sem adubação boratada);
- 2 - 20 mg de B por kg de semente de B;
- 3 - 40 mg de B por kg de semente de B;
- 4 - 60 mg de B por kg de semente de B;
- 5 - 80 mg de B por kg de semente de B;
- 6 - 100 mg de B por kg de semente de B.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, com quatro repetições e a semente utilizada foi a IAC – 505, que é a cultivar mais utilizada na região Alta Paulista.

Cada bandeja continha areia e, antes do início do tratamento com ácido bórico, foi realizado um tratamento com fungicida e inseticida. Os produtos utilizados foram os fungicidas de ingrediente ativo Thiram (500g/L) somados aos ingredientes ativos

Metalaxil-M (10 g/L) e Fludioxonil (25 g/L), e o inseticida de ingrediente ativo Tiametoxam (350 g/L). Foi preparada e utilizada uma mistura desses 3 produtos na dose de 600 ml para cada 100 kg de semente.



Figura 4: Tratamentos de sementes de amendoim.

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Após o tratamento com essa combinação envolvendo os fungicidas e o inseticida, iniciou-se o tratamento com ácido bórico (17%B). Forem pesados 1kg de semente em cada saquinho, conforme figura 4, e tratada proporcionalmente cada um dos seis tratamentos.

Em seguida, foram realizados os cálculos proporcionais com a utilização de uma balança analítica da marca Bel, modelo M214AI com capacidade de carga máxima de 220g e com 0,0001g de resolução, bandejas e micropipeta digital da marca Olen, modelo k1-100C + k31-201Y com capacidade volumétrica de 0,1ml. As sementes foram pesadas na proporção de 1 kg de semente para cada tratamento.

Após os cálculos, as sementes foram plantadas na areia e levadas ao sol, sendo irrigadas dia sim, dia não, com a medida de 10 litros de água para cada bandeja. Um total de rega 6,38mm a cada dois dias.

A evapotranspiração da cultura variou em função de sua fenologia, obtendo-se valores médios de 4,02 mm/dia no período da emergência a 10% da cobertura de solo (Fase I), Embrapa (2014).

Após 15 dias, as plantas foram avaliadas quanto à germinação, altura da parte aérea, peso da parte aérea, altura da raiz e peso da raiz.

Para a medição, foram utilizadas réguas, tesoura e balança de precisão.

3.2 MÉTODO DE ANÁLISE ESTATÍSTICA DAS VARIÁVEIS E ANÁLISE DE REGRESSÃO

A análise estatística dos dados foi realizada com o uso do *software* Minitab versão 19.2020.1(64 bits) e, para todos os testes supracitados, foi considerado um nível de significância α de 5%.

As análises foram segmentadas em porcentagem de germinação, tamanho e peso da raiz, tamanho e peso da parte aérea, realizando teste de análise de variância (ANOVA) como indicativo inicial de efeito dos tratamentos e posteriori o teste de Tukey, sempre utilizando o delineamento em blocos casualizados como modelo devido as características do experimento.

O presente trabalho buscou desenvolver modelos de regressão lineares e quadráticos, bem como modelos baseados em inteligência artificial (neuro-fuzzy). Para isto, foi feita uma primeira análise somente com modelos não lineares gerados por regressão quadrática, sendo efetuadas as discussões agrônomicas sobre o comportamento das variáveis. Tal discussão fora realizada com também análise estatística descritiva das variáveis, testes de comparação de médias, e estudo de correlação.

A segunda parte dos modelos constituía sim dos modelos neuro-fuzzy, buscando nesta seção mostrar as vantagens de modelagem e de melhor ajuste de tais modelos. Naturalmente, os valores de R^2 de tais modelos foram superiores aos modelos de regressão quadrática, Além disto, foi feita uma detalhada validação destes modelos, comparando-o em diversos outros parâmetros, a serem descritos a seguir. Tais comparações foram feitas diretamente com modelos de regressão linear.

A seguir, também são explicitadas as formas de elaborações de tais modelos de inteligência artificial.

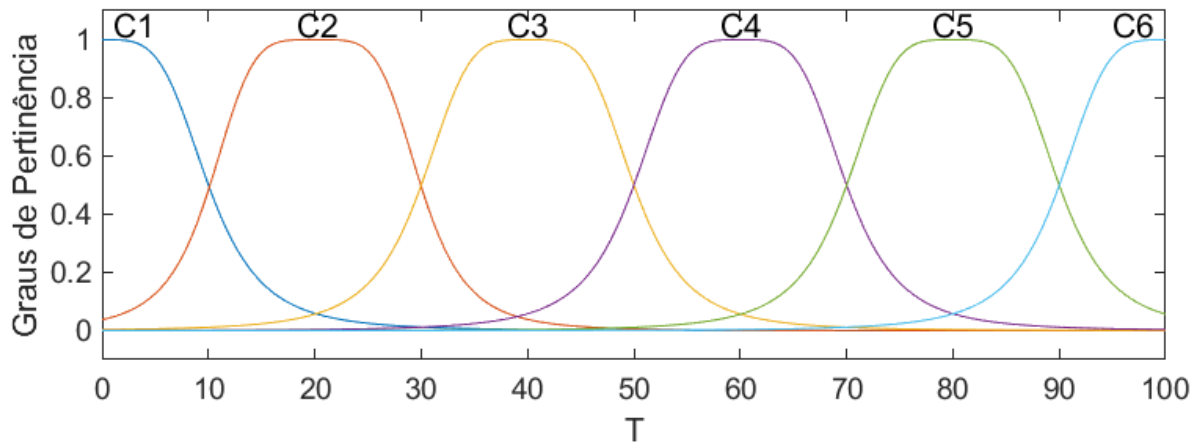
3.3 MÉTODO DE ELABORAÇÃO DOS MODELOS NEURO-FUZZY ANFIS

ANFIS é um acrônimo para Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System. ANFIS é uma rede neural que usa lógica difusa para aproximar funções complexas. Segundo ALRASSAS et al. (2021), a técnica foi desenvolvida no início dos anos 1990 e integra os princípios da rede neural e da lógica fuzzy, o que permite capturar os benefícios de

ambos em uma única estrutura. CHOPRA et al. (2021) e REJULA et al. (2023) afirmam que seu sistema de inferência corresponde a um conjunto de regras fuzzy SE-ENTÃO que possuem capacidade de aprendizado para aproximar funções não lineares. De acordo com os mesmos autores, ANFIS é considerado um estimador universal porque pode aproximar qualquer função contínua com qualquer grau de precisão.

As variáveis de entrada dos modelos neuro-fuzzy são mostradas na Figura 5, a qual apresenta um modelo de funções de pertinência na forma generalizada em forma de sino, que foi utilizada para as entradas do modelo.

Figura 5: Função de pertinência generalizada em forma de sino das variáveis de entrada dos modelos propostos.



A função de pertinência em forma de sino é uma das funções mais utilizadas em conjuntos fuzzy (DORZHIGULOV & JAMES, 2019; TALPUR et al., 2017), sendo suave e simétrica em relação a um número real, e é dada por:

$$\mu_A(x) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x - c}{a} \right|^{2b}} \quad (1)$$

onde a , b e c são constantes que controlam a largura e a altura da curva.

Levando em consideração que este modelo combina sete variáveis de entrada para a obtenção de uma variável de saída, as regras foram organizadas de acordo com:

$$y = \sum_{i=0}^2 a_i x_i = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 \quad (2)$$

O sistema de inferência fuzzy Takagi-Sugeno é um tipo de sistema de inferência fuzzy que usa regras do tipo "se-então" para representar relações locais de entrada-saída de um sistema não linear. Segundo MEHRAN (2008) e ZHOU et al. (2012), o modelo fuzzy proposto por Takagi e Sugeno é descrito por regras fuzzy IF-THEN que representam relações locais de entrada-saída de um sistema não linear. Segundo os mesmos autores, a principal característica de um modelo fuzzy Takagi-Sugeno é expressar a dinâmica local de cada implicação fuzzy (regra) por um modelo de sistema linear, da forma:

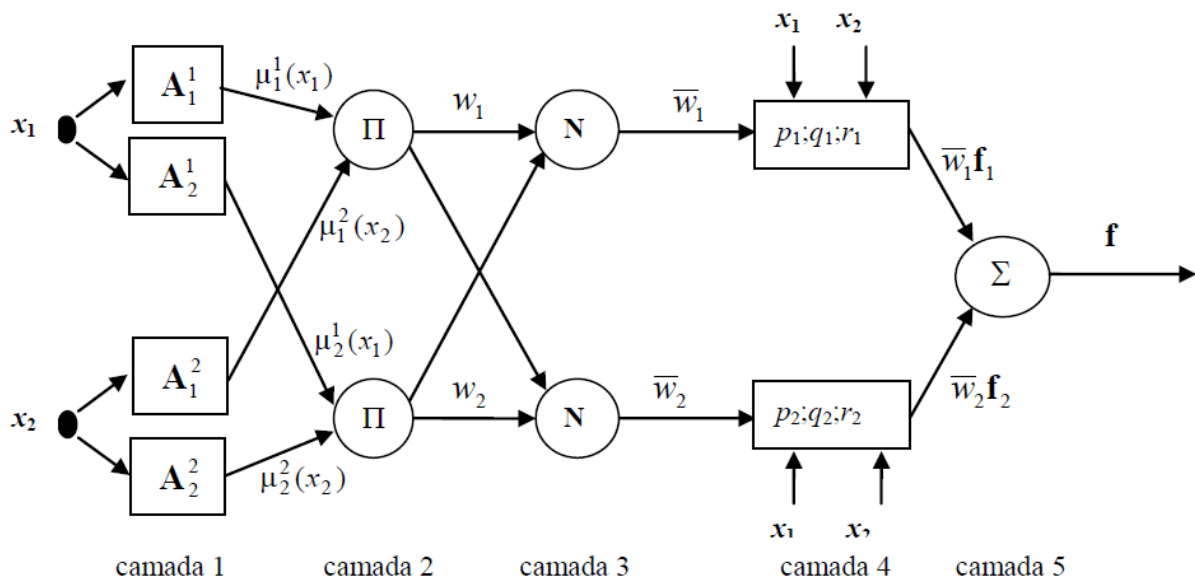
$$\text{"se } x \text{ é } A \text{ e } y \text{ é } B, \text{ então } z = f(x, y)\text{"}$$

em que x e y são variáveis fuzzy, A e B são conjuntos fuzzy e f é uma combinação linear das variáveis de entradas. Supondo que o sistema de controle fuzzy em consideração consiste em duas entradas de x_1 e x_2 uma saída y , a base de regras contém duas regras fuzzy da seguinte forma (Figura 6):

"Regra 1: Se x_1 é A_1^1 e x_2 é A_2^1 , então $f_1 = p_1 x_1 + q_1 x_2 + r_1$ "

"Regra 2: Se x_1 é A_1^2 e x_2 é A_2^2 , então $f_2 = p_2 x_1 + q_2 x_2 + r_2$ "

Figura 6: Arquitetura típica de um modelo ANFIS (BENINI, 2009).



O ANFIS é uma rede neural artificial que combina a lógica fuzzy com a teoria da aprendizagem de máquina. A arquitetura do ANFIS é composta por 5 camadas de neurônios interconectados.

A estrutura da rede ANFIS é composta de cinco camadas, onde cada camada contém nós descritos pela função do nó. De acordo com CAMPOS (2018), a primeira camada é a camada de entrada, que representa as variáveis de entrada; a segunda camada é a etapa de fuzzificação, onde os intervalos de cada variável de entrada são divididos em funções de pertinência fuzzy; a terceira camada é a camada de regras, que determina o grau de ativação de cada regra fuzzy; a quarta camada é a camada de agregação, que combina as saídas das regras fuzzy ativadas em uma única saída; por fim, a quinta e última camada é a camada de saída, que produz a saída final do sistema.

Cada camada realiza um processo específico, descritos a seguir (CHOPRA et al., 2021; BENINI et al., 2009) de acordo com cada camada.

Camada 1: Nesta camada os nós são representados por:

$$O_i^j = \mu_i^j(x_i)$$

em que, $i = 1, 2$ é o número de variáveis e $j = 1, 2$ é o número de regras e sendo μ o grau de pertinência associada à variável de entrada.

Camada 2: Os nós desta cama são não adaptativos, não apresentam parâmetros a serem ajustados e tem como saída $w_j = w_j(\mu_1^j, \mu_2^j)$, $j = 1, 2$, que é o produto dos sinais de entrada de suas entradas. Cada saída w_j corresponde à intensidade de disparo de uma regra, ou seja, calcula com que grau de pertinência o consequente da regra está sendo atendido. Os neurônios desta camada simbolizam a operação de T-norma e, em geral, se pode utilizar outro operador, em lugar do produto. Para regras que empregam o conectivo “e”, os operados mais usados são o “produto”, e o operador “mínimo”, tem-se que:

$$O_j^2 = w_j = \prod_{i=1}^2 \mu_i^j = \mu_1^j \mu_2^j = \min(\mu_1^j, \mu_2^j), \quad j = 1, 2.$$

Camada 3: Nesta camada os nós não são adaptativos, assim a saída deste nó é definida por $\bar{w}_j = \bar{w}_j(\mu_1^j; \mu_2^j)$, sendo a razão entre a intensidade de disparo da j -ésima regra e a soma dos disparos de todas as outras regras. Dado por:

$$O_j^3 = \bar{w}_j = \frac{w_j}{\sum_{i=1}^2 w_i} = \frac{w_j}{w_1 + w_2}; \quad j = 1, 2$$

Camada 4: Nesta camada os nós são adaptativos e seus parâmetros, $p_j, q_j, r_j, j = 1, 2$, correspondendo a parte do consequente de cada regra do modelo. As saídas são calculadas pelo produto entre os níveis. Assim a saída $f_j = f_j(\bar{w}_j, x_1, x_2, p_j, q_j, r_j)$, que corresponde a saída parcial da j -ésima regra, dada por:

$$O_j^4 = f_j = \bar{w}_j = (p_j x_1 + q_j x_2 + r_j)$$

em que, $\bar{w}_j, j = 1, 2$, é a saída da camada 3 e $\{p_j, q_j, r_j\}$ é o conjunto de parâmetros do consequente de cada regra.

Camada 5: A camada é formada por apenas um único nó, não adaptativo. O nó desta última camada calcula a saída do sistema e, com os nós das camadas 3, promove a defuzzificação. A saída $f = f(f_1, f_2)$, e a saída global do sistema é dada pela soma de todas as saídas parciais:

$$O_j^5 = f = \sum_{j=1}^2 f_j$$

O ANFIS usa técnicas de *back propagation* e híbridas na atualização de parâmetros. Segundo SHUKLA, R. et al. (2022) e DAS (2023), o *back propagation* é um algoritmo de treinamento para redes neurais artificiais que usa um método de gradiente descendente para minimizar uma função de erro. Assim, o algoritmo calcula o gradiente da função de erro em relação aos pesos da rede neural para atualizá-los. O ANFIS usa *back propagation* para otimizar os parâmetros das funções de pertinência fuzzy e os pesos das regras.

A análise e interpretação dos gráficos é feita utilizando mapas de contorno e de superfície, que mostram por meio de cores e desníveis os maiores e menores valores da variável de saída.

3.4 VALIDAÇÃO DOS MODELOS

Para avaliar da precisão de modelos matemáticos, foram utilizadas as seguintes medidas de desempenho (HODSON, 2022):

- a) Erro médio absoluto, que indica a capacidade de reprodução da realidade, onde $|d|$ é o erro médio, dado por:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |d| \quad (3)$$

- b) Erro médio quadrático, onde resultados mais próximos a zero indicam melhor qualidade do modelo, já que é sensível aos erros de modelagem, obtido da forma:

$$MSE = \sum_{i=1}^n \frac{(y_{observado} - y_{fuzzy})^2}{n} \quad (4)$$

- c) Raiz Quadrada do Erro Médio Quadrático Normalizado, que expressa a precisão dos resultados obtidos pelo modelo, sem que haja influência das diferenças entre as escalas das variáveis utilizadas. É calculado por:

$$NRMSE_j = \sqrt{\frac{1}{n_j} \sum_{i=1}^n (y_{ij} - \hat{y}_{ij})^2 / Var(\hat{y}_{ij})} \quad (5)$$

- d) Correlação de Pearson, evidencia o grau de relação entre as variáveis, obtido da forma:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (y_{fuzzy} - \bar{y}_{fuzzy})(y_{observado} - \bar{y}_{observado})}{\left[\sum_{i=1}^n (y_{fuzzy} - \bar{y}_{fuzzy})^2 (y_{observado} - \bar{y}_{observado})^2 \right]^{\frac{1}{2}}} \quad (6)$$

- e) Índice Willmott, quantifica a dispersão dos dados em relação a um método considerado padrão:

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n |y_{fuzzy} - y_{observado}|^2}{\sum_{i=1}^n (|y_{fuzzy} - \bar{y}| + |y_{observado} - \bar{y}|)^2} \right] \quad (7)$$

onde:

- y_{fuzzy} e $y_{observado}$: valor calculado pelo modelo *fuzzy* e valor observado, respectivamente;
- n : número de pares de entrada-saída do vetor usado no treinamento.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 ANÁLISE ESTATÍSTICA E REGRESSÃO POLINOMIAL

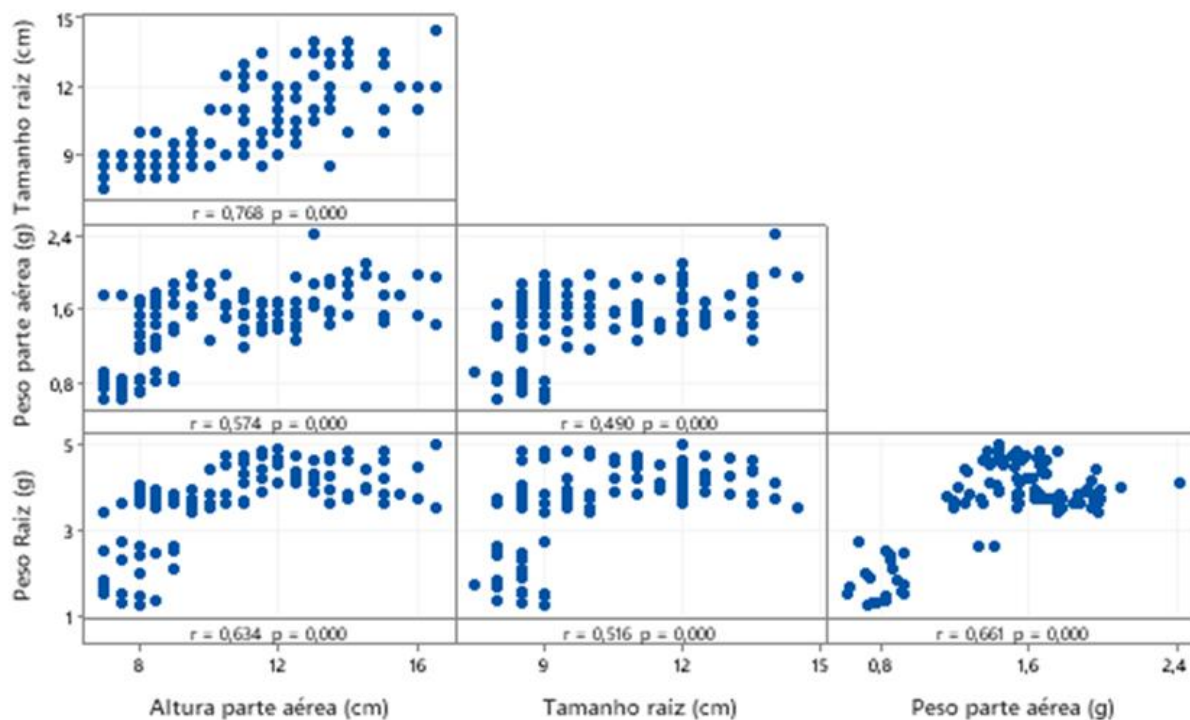
Inicialmente, procurou-se analisar a correlação existente entre as variáveis que julgamos principais da cultura (**Erro! Fonte de referência não encontrada.** e Figura 7). É possível observar que tanto o comprimento da parte aérea quanto a raiz se comportam de maneira similar para os tratamentos realizados. Para os pesos, estes se demonstraram similitude, mas com menor correlação, além um adensamento de dados para valores intermediários. Nos outros cruzamentos, tem-se uma correlação fraca com uma maior dispersão dos valores obtidos.

Valores de correlação próximo a 1.....

Tabela 1: Correlação entre as variáveis Altura parte aérea, Tamanho raiz (cm) e Peso parte aérea (g).

	Altura parte aérea (cm)	Tamanho raiz (cm)	Peso parte aérea (g)
Tamanho raiz (cm)	0,77		
Peso parte aérea (g)	0,57	0,49	
Peso Raiz (g)	0,63	0,52	0,66

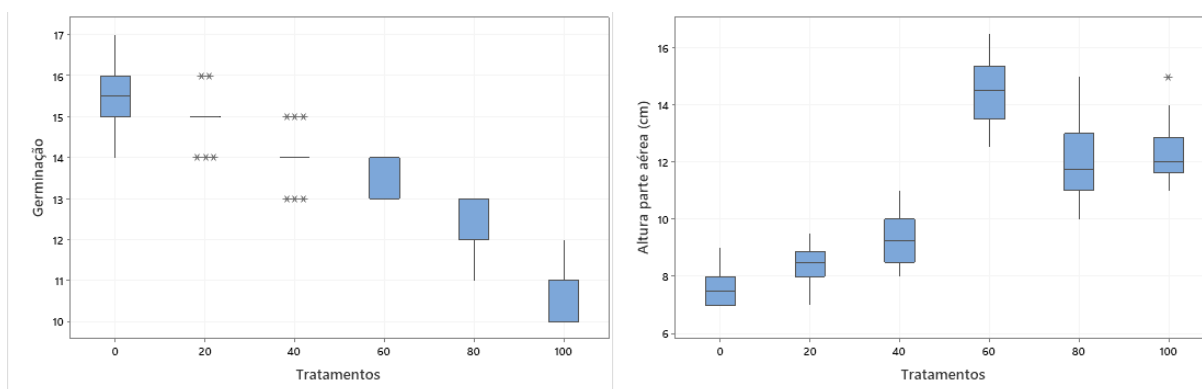
Figura 7: Correlação de Person para as medidas do amendoim.

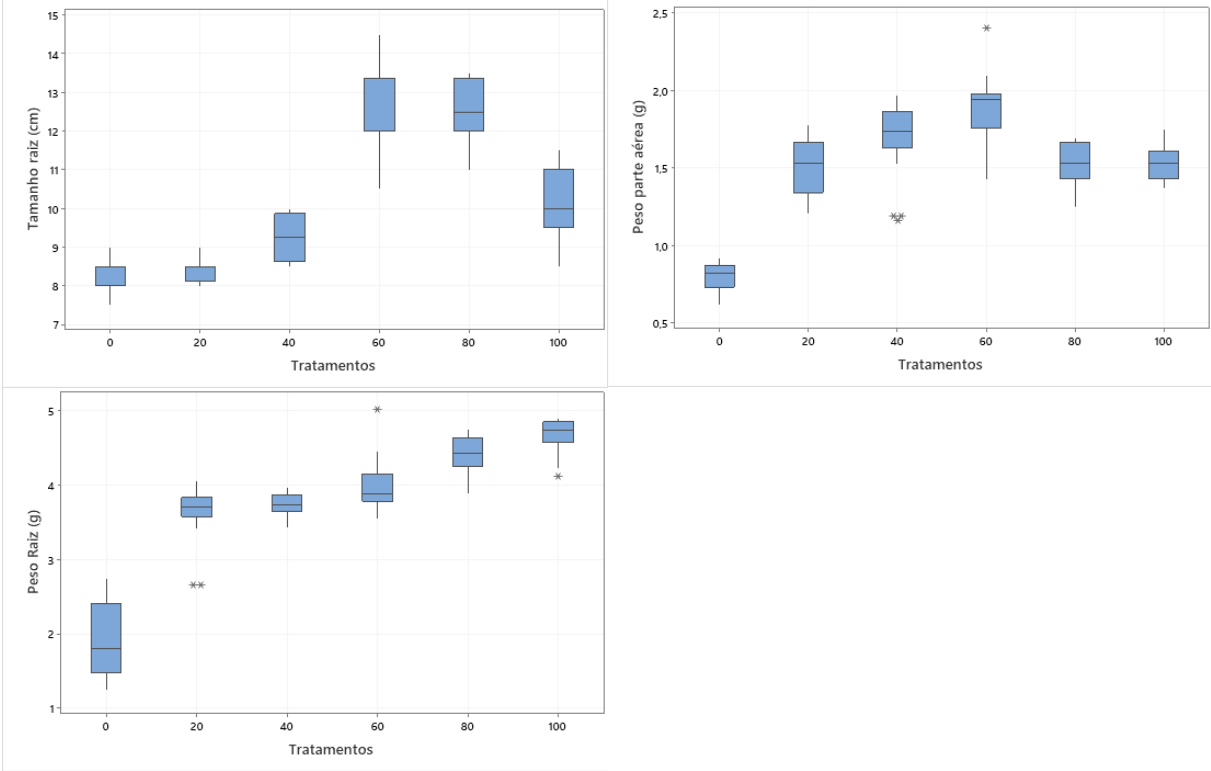


Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

A análise estatística dos dados foi realizada através do uso do software Minitab e, para todos os testes supracitados, foi considerado um nível de significância α de 5%. Os resultados das comparações entre as médias dos tratamentos, para cada variável, estão estabelecidos na Tabela 2. As Figuras 8 e 9 mostram a distribuição dos dados em gráficos tipos Box-Plot e em agrupamentos com intervalo de confiança.

Figura 8: Gráficos tipo Box-Plot de todas as variáveis em estudo.





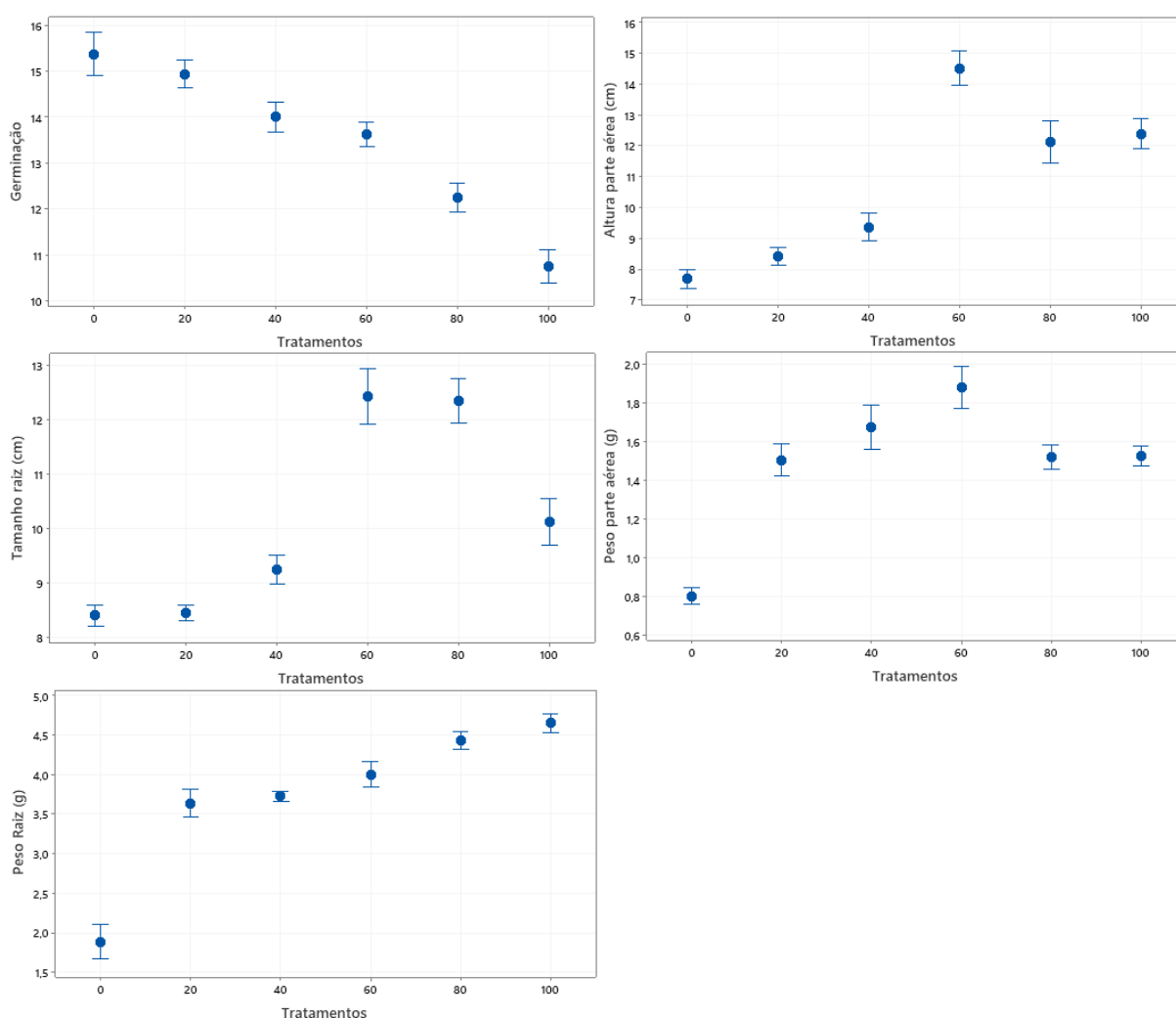
Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Tabela 2: Comparações entre as médias dos tratamentos, para cada variável, pelo teste de Tukey com nível de significância 5%.

Ácido Bórico	Germinação	Peso das Raízes	Tamanho das Raízes	Peso da Parte Aérea	Tamanho da Parte Aérea
0	15,4 A	1,89 A	8,4 A	0,80 D	7,7 D
20	14,9 A	3,63 A	8,5 A	1,50 C	8,4 D
40	14,0 B	3,72 B	9,3 B	1,67 B	9,4 C
60	13,6 B	4,00 BC	12,4 C	1,88 A	14,5 A
80	12,3 C	4,42 C	12,4 C	1,52 BC	12,1 B
100	10,8 D	4,65 D	10,1 D	1,53 BC	12,4 B

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Figura 9: Intervalos de germinação versus tratamentos (com intervalo de confiança de 95% da média) para todas as variáveis em estudo.



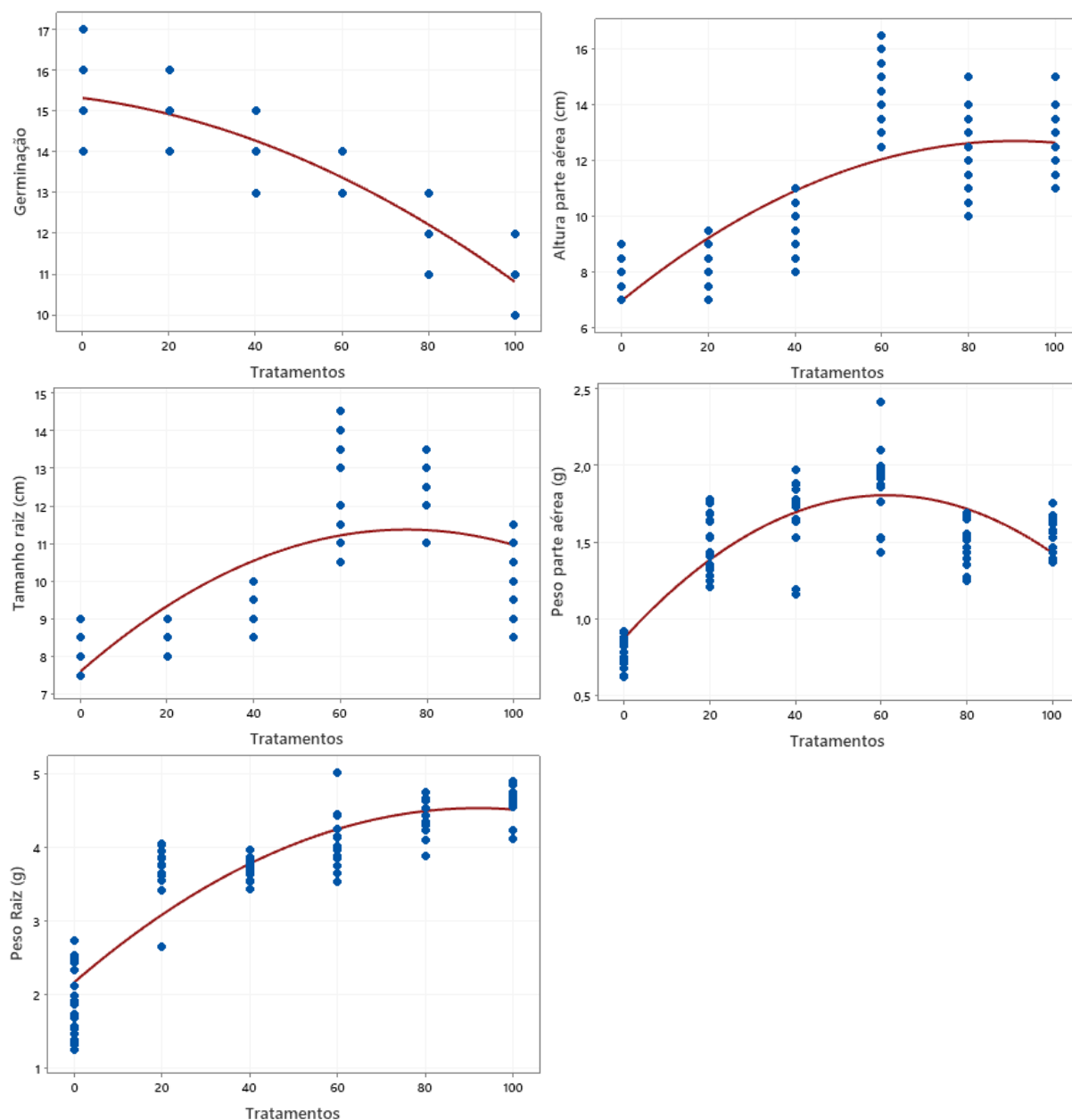
Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

A análise de regressão resultou modelos quadráticos todos significativos ($P < 5\%$) com valor do coeficiente de determinação R^2 entre 51% e 85% (Tabela 3 e Figura 10).

Tabela 3: Resultados das análises de regressões quadráticas ($y = a_0 + a_1x + a_2x^2$) para cada variável.

	a0	a1	a2	R ²	R ² (aj)	p-valor
Germinação	15,32	-0,014	-0,00032	85,3%	85,0%	0,00
Altura parte aérea	6,96	0,127	-0,00070	61,6%	60,9%	0,00
Tamanho raiz	7,60	0,100	-0,00066	52,5%	51,7%	0,00
Peso parte aérea	0,88	0,030	-0,00025	70,6%	70,1%	0,00
Peso Raiz	2,17	0,052	-0,00028	80,5%	80,2%	0,00

Figura 10: Ajuste polinomial quadrático gerado pelas análises de regressão para todas as variáveis em estudo.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

A seguir, são estabelecidas discussões específicas para cada variável analisada, buscando estabelecer relações entre os diferentes níveis de Ácido Bórico e cada variável em estudo, bem como a discussão do comportamento do modelo matemático quadrático.

Germinação

Segundo a análise de variância demonstrou um que existe tratamentos que implicam na alteração da germinação do amendoim com a dosagem de boro. Ao verificar os agrupamentos, temos a equivalência da testemunha com 20mg, 40mg com 60mg, e os tratamentos de 80mg e 100mg se demonstraram distintos dos demais (Tabela 2). De acordo com a Figura 10, é possível concluir que, conforme se aumentam as doses do ácido bórico na germinação, acidifica-se o meio, com isso dificulta-se a germinação da semente, visto que o procedimento para que o solo não se acidifique envolve a aplicação de uma base, - calcário -, dessa forma, o ideal seria um pH próximo de 7.

Nesse sentido, considerando-se que o boro tem sido objeto de muitos estudos em virtude das suas funções no metabolismo vegetal, sendo importante para obtenção de maiores produtividades e qualidade de sementes, a pesquisa realizada por Berti et al. (2019) corroborou o encontrado no presente trabalho. Os autores constataram que durante aplicação de boro na germinação de sementes de soja, à medida em que se ampliavam as doses, houve acidificação do solo, sendo que tal acidificação dificultou a germinação das sementes de soja (BERTI et al., 2019).

Peso da Raiz

Ao verificar o resultado do peso da raiz após um período de 15 dias, seguindo os mesmos procedimentos para todos os cultivares alterando somente a dosagem de boro e colhidos ao acaso, se teve a demonstração da análise de variância indicando uma alteração no peso devido os tratamentos executados. Na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, temos o resumo dos dados os quais se tem a média e desvio padrão para cada tratamento. Assim podendo observar que quando submetido ao teste de Tukey o obteve agrupamento dos tratamentos de testemunha com 20mg, 40mg com 60mg, 60mg com 80mg e apenas o 100mg como distinto dos demais.

A Figura 10 exibe os dados da relação peso da raiz/tratamentos juntamente com uma curva de ajuste polinomial de grau 2, cujo coeficiente de determinação (R^2) é de

80,2%. Nota-se que os valores entre 80mg e 100mg demonstraram resultados superiores, indicando uma possível saturação e tendência de queda para dosagens acima desses valores. O boro é um elemento absorvido pela raiz, e conforme as doses foram aplicadas, houve um aumento significativo no peso da raiz. Portanto, constatou-se que o desenvolvimento da raiz é influenciado pelo uso de boro.

A aplicação de boro pode ter um impacto significativo no peso da raiz das plantas, tendo em vista que o ácido bórico é um micronutriente essencial para o crescimento saudável das plantas, desempenhando um papel crucial em vários processos fisiológicos e estando envolvido na formação e estabilidade da parede celular, transporte de carboidratos, metabolismo de hormônios vegetais e síntese de proteínas (PRADO, 2020).

Sobre esse aspecto, a pesquisa realizada por Da Silva (2017) demonstrou que a deficiência de boro pode afetar negativamente o desenvolvimento das raízes das plantas, tendo em vista que quando estas não recebem quantidade suficiente de boro, podem apresentar raízes mais curtas, mais finas e com menor capacidade de absorção de água e nutrientes. Isso pode levar a um crescimento deficiente das raízes e, conseqüentemente, a um peso reduzido da raiz. O autor concluiu que, por outro lado, a aplicação adequada de boro pode promover o crescimento saudável das raízes, pois o boro auxilia na formação e alongação celular, fortalece as paredes celulares e melhora a absorção de água e nutrientes pelas raízes. Isso resulta em um sistema radicular mais vigoroso e capaz de explorar o solo de forma eficiente, levando a um aumento no peso das raízes (DA SILVA, 2017).

Tamanho da Raiz

Comutativamente se fez observações com relação ao tamanho da raiz, referente ao comprimento. Os testes de análise de variância indicaram influência do tratamento no desenvolvimento da raiz (Tabela 2). Pode-se verificar os valores médios e desvios padrões do tamanho da raiz longitudinal, assim como o seu agrupamento seguindo o teste de Tukey. Assim, é possível observar o agrupamento da testemunha com 20 mg, 60mg com 80mg, e os tratamentos de 40mg e 100mg se demonstraram distintos.

Na Figura 10, observou-se um pico de tamanho da raiz em torno de 60 mg, a partir do qual ocorreu uma diminuição gradual no seu tamanho. Esse comportamento pode ser atribuído ao fato de o boro ser um elemento ácido e um micronutriente essencial, exigindo um ajuste preciso calculado em quilograma por hectare. Mesmo

em doses de miligramas aplicadas nas sementes, o boro pode ocasionar toxicidade ou qualquer outro sintoma indesejado, portanto, a dose adequada encontrada para esse estudo foi de aproximadamente 60 miligramas por quilo de semente.

Sobre esse aspecto, Bissoto (2022) aponta que, para um bom crescimento e desenvolvimento das raízes, são necessárias doses ajustadas de ácido bórico, realizadas por meio de um bom manejo nutricional, sendo importante considerar que há vários trabalhos realizados apresentando respostas de boro na cultura da soja com resultados divergentes, o que torna relevante e necessária a realização de novos estudos que possibilitem a obtenção de maiores saberes acerca da utilização deste micronutriente de forma coerente nas mais diversas culturas. A Figura 11 ilustra o tamanho das raízes de T1 (testemunha) e T4 (60 mg) obtidas na realização do experimento estudado neste trabalho.

Figura 11: Comparativo entre T1 e T4.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Peso parte aérea

Também se faz necessário avaliar a folhagem considerando que essa capta os raios solares e cooperam no processo de fotossíntese. Ao medir a parte aérea e realizar a análise de variância, demonstrasse que os tratamentos surtiram efeitos tanto para

peso quanto tamanho da parte aérea da espécie estudada. Na Tabela 2, tem-se a demonstração dos valores médios e desvios padrões em conjunto com o agrupamento seguindo o teste de Tukey para os valores de peso da parte aérea. Assim, pode-se observar que somente a testemunha (T1) e o tratamento T4 (60 mg) se diferenciaram, pois os demais tratamentos encontram similaridades, T2 com T5 e T6, T3 com T5 e T6, e os tratamentos de 80 mg (T5) e 100 mg (T6) se demonstram equivalentes.

Em relação à parte aérea, a relação de proporção verificada na relação 'Peso versus tratamentos' ocorreu seguindo uma curva de ajuste de grau 2 com valor máximo próximo de 60 mg (T4), cooperativamente com os resultados obtidos no estudo de suas raízes. Na Figura 10, tem-se a ilustração das medidas adquiridas em conjunto com a curva de ajuste para os valores de peso da parte aérea quando submetido aos tratamentos do experimento.

Considerando que a aplicação de boro pode influenciar o peso da parte aérea das plantas, devido seu papel fundamental na formação e alongamento celular, na translocação de nutrientes, na síntese proteica, no transporte de açúcares, entre outros, Souza e Roman (2018) apontam que, a partir de determinadas doses de ácido bórico, o crescimento e o peso da parte aérea de plantas, no caso a soja, começam a diminuir.

A aplicação adequada de doses de boro pode promover o crescimento e desenvolvimento saudável da parte aérea das plantas, tendo em vista o papel importante do ácido bórico nos processos essenciais para a produção de biomassa nas partes aéreas das plantas. Com níveis adequados de boro, as plantas são capazes de maximizar a absorção de nutrientes, a produção de energia e a síntese de compostos necessários para o crescimento e a formação de tecidos vegetais. Isso pode resultar em um aumento no peso da parte aérea das plantas (FUJIYAMA, 2019).

Assim como nas raízes, o boro desempenha um papel fundamental no crescimento e desenvolvimento saudável das partes aéreas das plantas. Nesse sentido, Ferrari e Boiago (2022) destacam que doses elevadas de ácido bórico podem levar à toxidez na cultura da soja e influenciar negativamente no desenvolvimento e crescimento das partes aéreas.

Tamanho da Parte Aérea

A Tabela 2 se tem os valores obtidos para o tamanho da parte aérea da cultura estudada, nela se tem os valores de média e desvio padrão. Nesses dados, pode-se

observar o seu respectivo agrupamento quando aplicado o teste de Tukey. O agrupamento T1 com T2 e T5 com T6, os tratamentos T3 (40 mg) e T4 (60 mg) se demonstram distintos dos demais.

A altura da parte aérea seguiu o que foi encontrado na relação tamanho da raiz/tratamentos, em que a dose ideal detectada correspondeu a de 60mg, tendo em vista que o experimento constatou que a partir dessa dosagem tem-se plantas menores, devido ao fato de que doses maiores de 60 prejudicam e atrasam muito a germinação, sendo que as plantas que germinam acabam apresentando tamanhos e pesos maiores que sementes que não tiveram adição de boro, tanto da parte aérea quanto de raiz, o que pode ser observado no Figura 10.

A aplicação de boro em plantas afeta o crescimento e a altura delas, dependendo da espécie de planta, das condições de crescimento e do nível de deficiência ou excesso de boro. Quando a planta de soja está sofrendo de deficiência de boro e recebe uma aplicação adequada desse nutriente, é possível observar um aumento no crescimento e na altura das plantas, tendo em vista que o boro é muito importante para a divisão celular e para a expansão das células, o que contribui para o crescimento e a alongação dos tecidos vegetais (ASCOLI, 2020).

Entretanto, se a dosagem de ácido bórico for acima do ideal, no caso de sementes de soja, ocorre a diminuição da raiz e da parte aérea das plantas, que acabam por apresentar menores tamanhos, conforme aponta o estudo de Ecco, Backes e Reuter (2022).

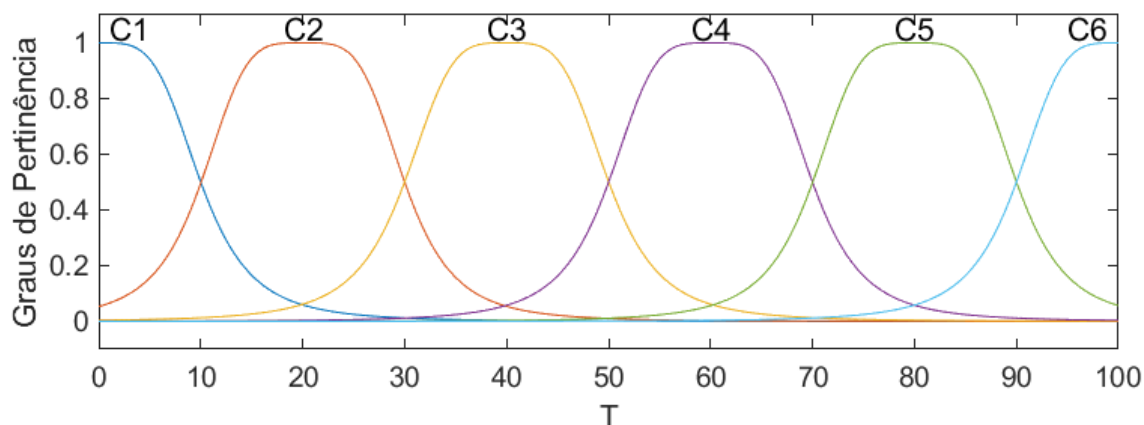
4.2 MODELAGEM NEURO-FUZZY

Utilizando o *Fuzzy Logic Toolbox* do software MATLAB, foi possível realizar o ajuste das funções de pertinência dos modelos ANFIS (*Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System*), conforme mostram a Tabela 4 e Figura 12. Posteriormente, foi possível realizar o treinamento de todos os modelos.

Tabela 4: Parâmetros das funções de pertinência da variável de entrada Ácido Bórico de acordo com cada variável de saída.

Variável de Saída	Conjunto Fuzzy	Parâmetros		
		a	b	c
1	1	10,00	2,00	0,00
1	2	9,91	2,30	20,05
1	3	10,00	2,03	40,01
1	4	10,00	2,01	60,00
1	5	9,99	2,03	80,00
1	6	10,00	2,02	100,00
2	1	10,00	2,00	0,00
2	2	9,94	2,20	20,04
2	3	9,99	2,04	40,00
2	4	9,99	2,05	59,99
2	5	10,00	2,01	80,00
2	6	10,00	1,99	100,00
3	1	10,00	2,00	0,00
3	2	9,95	2,15	20,03
3	3	10,00	2,02	40,00
3	4	10,00	2,00	60,00
3	5	10,00	2,00	80,01
3	6	10,00	2,01	100,00
4	1	10,00	2,00	0,00
4	2	9,98	2,07	20,02
4	3	10,01	1,97	40,01
4	4	9,99	2,01	60,00
4	5	9,99	2,03	80,01
4	6	10,00	2,00	100,00
5	1	10,00	2,00	0,00
5	2	9,99	2,04	20,01
5	3	10,00	1,99	40,00
5	4	10,00	2,00	60,00
5	5	10,00	1,99	80,00
5	6	10,00	2,00	100,00

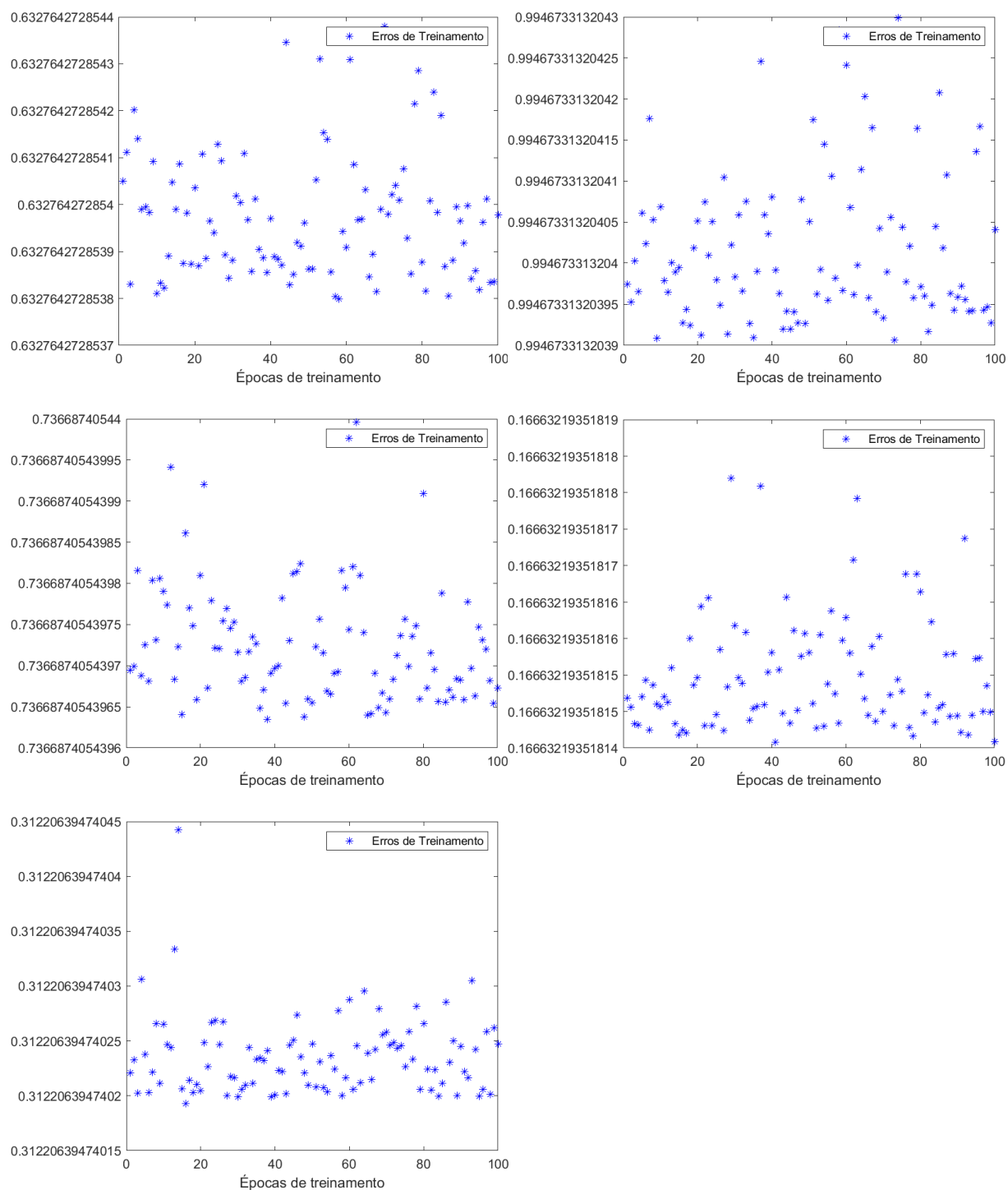
Figura 12: Delimitadores das funções de pertinência das variáveis de entrada após a modelagem neuro-fuzzy (ANFIS).



Vale ressaltar que a Figura 12 ilustra as funções de pertinência da variável de entrada Ácido Bórico de somente um dos 5 modelos. Todavia, em virtude das ínfimas diferenças dos parâmetros entre tais funções de pertinência entre os modelos, tais figuras são idênticas, o que então faz-se necessário mostrar somente uma delas.

Os limites são modificados com o objetivo de treinar o algoritmo de aprendizagem para a obtenção do menor erro possível de predição das variáveis de saída (Figura 13).

Figura 13: Erros gerados durante o processo de treinamento do modelo ANFIS.



Verifica-se, ainda, que as variáveis envolvidas no modelo neuro-fuzzy possuem escalas (range) diferentes (Tabela 5), causada pelas diferentes unidades de medida utilizadas neste trabalho.

Tabela 5: Limites inferior e superior das variáveis envolvidas no modelo.

Tipo	Variável	Limite inferior	Limite superior
Entrada	1	0	100
	1	10	17
Saída	2	7	16,5
	3	7,5	14,5
	4	0,62	2,41
	5	1,25	5,02

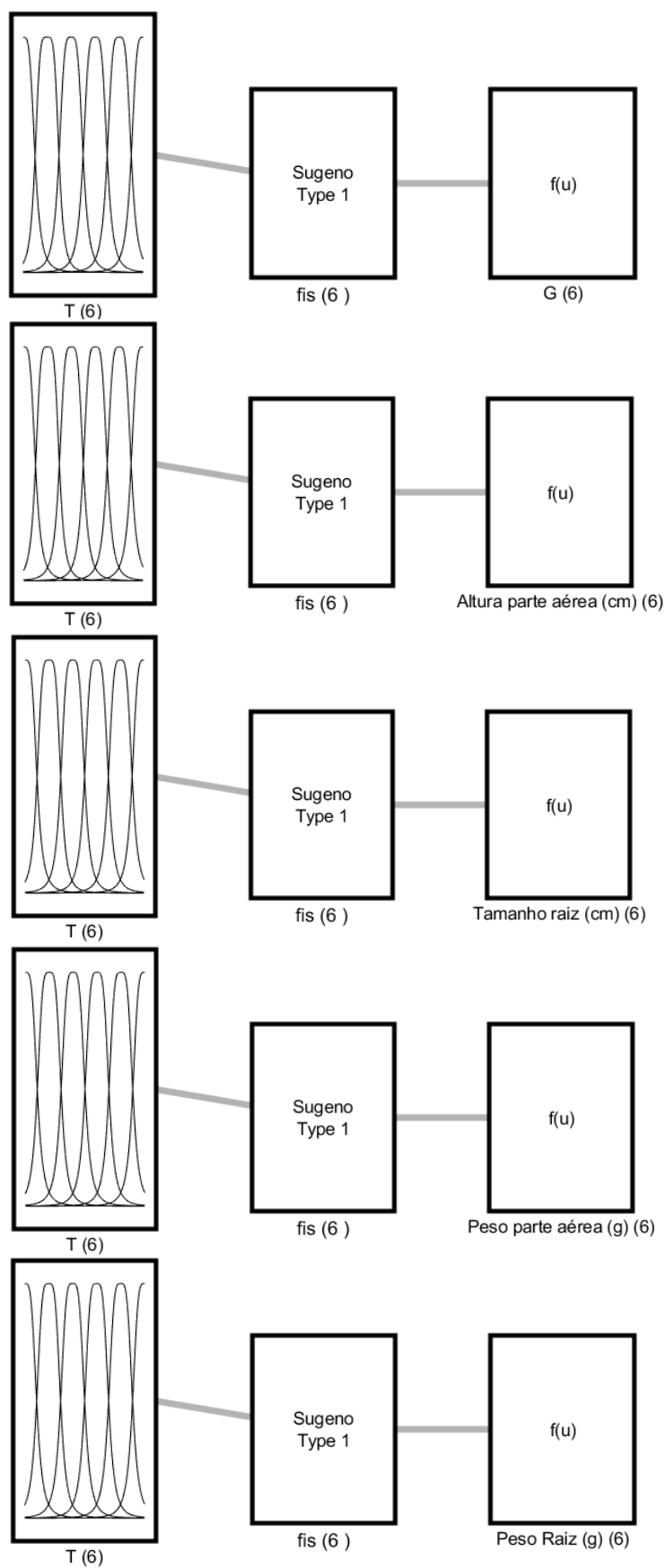
Portanto, o modelo ANFIS, para a obtenção da variável de saída, estabelece 6 conjuntos fuzzy para a variável de entrada, que são combinadas por meio de 6 regras (1 regra para cada função de pertinência), cujos coeficientes são evidenciados na Tabela 6.

Tabela 6: Coeficientes associados às variáveis de entrada e termo independente para a composição de cada regra do modelo elaborado.

Variável de Saída	Regra	a_1	a_0
1	1	0,044	15,998
1	2	0,735	0,636
1	3	0,341	0,067
1	4	0,224	0,016
1	5	0,151	0,005
1	6	0,104	0,003
2	1	0,025	8,027
2	2	0,413	0,370
2	3	0,224	0,034
2	4	0,248	0,009
2	5	0,147	0,004
2	6	0,122	0,002
3	1	0,024	8,817
3	2	0,411	0,438
3	3	0,223	0,038
3	4	0,209	0,010
3	5	0,154	0,004
3	6	0,098	0,002
4	1	0,005	0,846
4	2	0,077	0,049
4	3	0,041	0,005
4	4	0,031	0,001
4	5	0,018	0,000
4	6	0,015	0,000
5	1	0,011	1,993
5	2	0,186	0,120
5	3	0,089	0,010
5	4	0,066	0,003
5	5	0,055	0,001
5	6	0,046	0,001

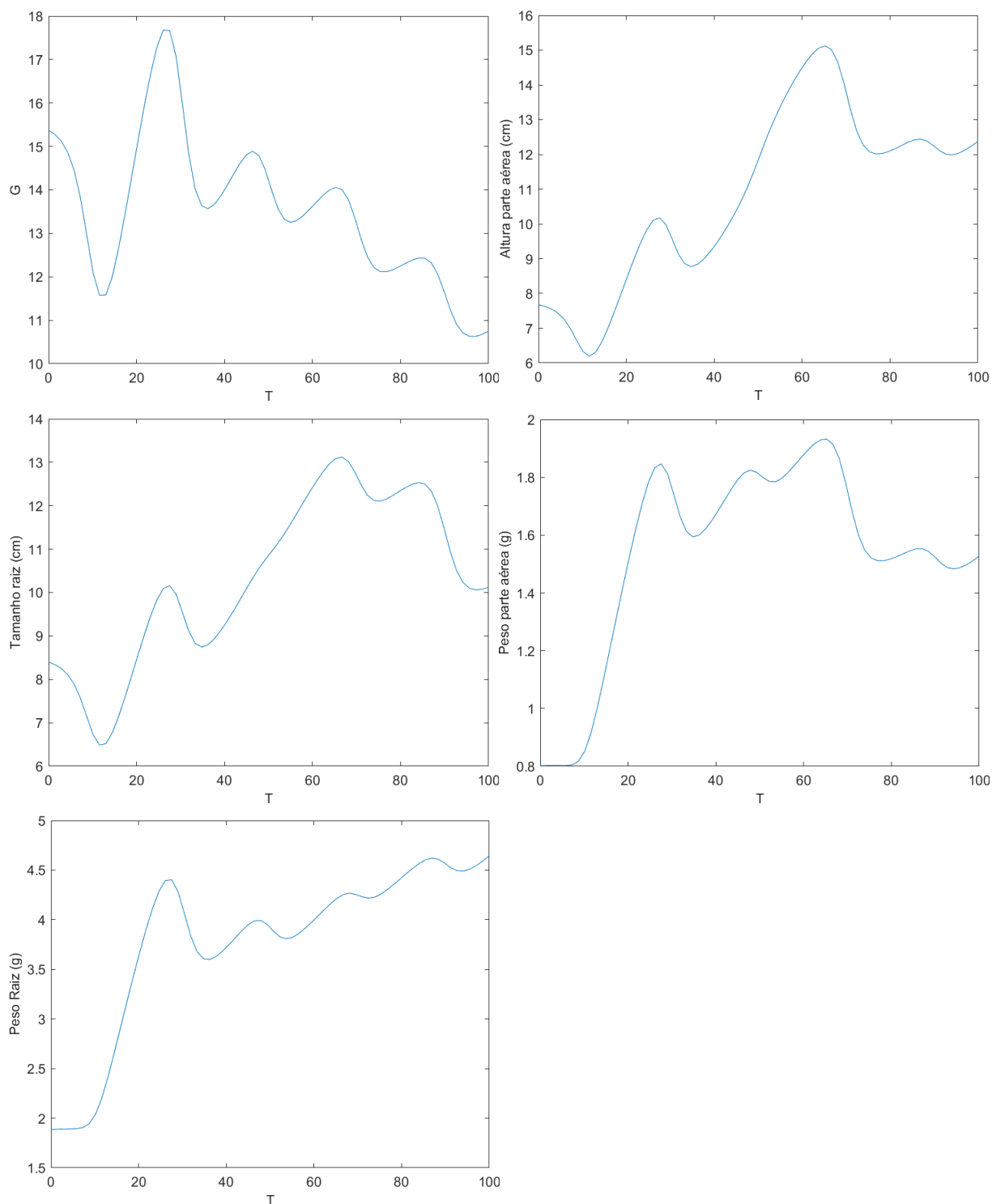
Desta forma, a arquitetura dos modelos neuro-fuzzy (ANFIS) elaborados para a obtenção das 5 variáveis de saída combinam, por meio de 6 regras, a variável de entrada, para cada modelo, conforme mostra a Figura 14.

Figura 14: Visão geral dos modelos neuro-fuzzy (ANFIS) para obtenção das 5 saídas dos modelos.



A Figura 15 mostra os modelos plotados em curvas de acordo com a modelagem neuro-fuzzy proposta. Observa-se claramente o comportamento não linear do modelo, ressaltando-se que, em cada variável de saída, os modelos tendem a sempre atingirem os valores dados pelas médias dos tratamentos, acarretando eles terem erro de ajuste nulo.

Figura 15: Curvas bidimensionais geradas para cada modelo fuzzy.



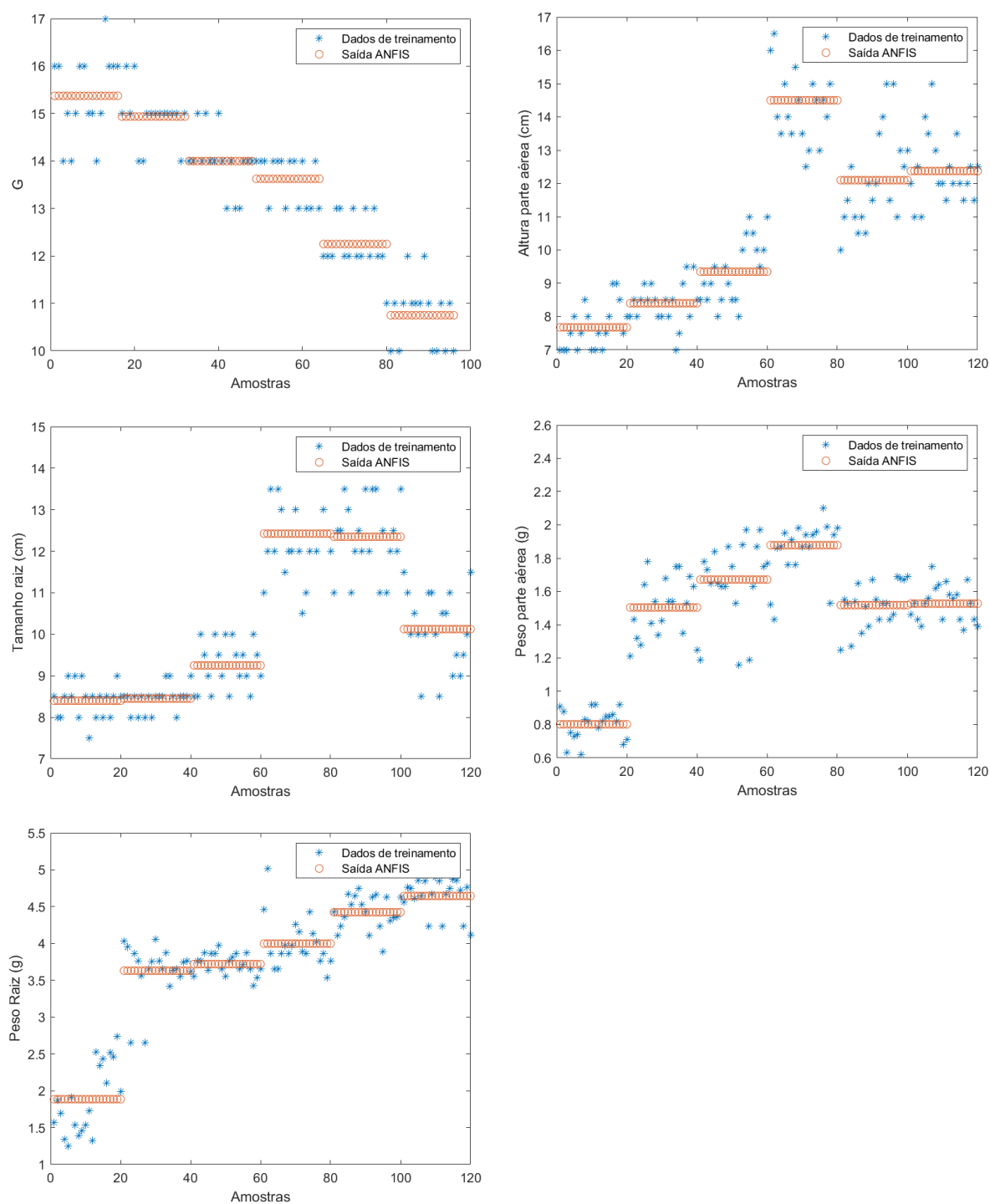
Os modelos ANFIS tiveram valores do coeficiente de determinação (R^2) todos superiores a 0,80, enquanto nos modelos de regressão, ficaram entre 0,26 a 0,82 (Tabela 7). Todos demais índices ANFIS apresentaram menores erros e, portanto, desempenho superior ao modelo de regressão. Isso demonstra a capacidade de aprendizado do modelo, que entende a distribuição de dados de acordo com suas próprias características, permitindo a obtenção de valores com erros pequenos ou inexistentes.

Tabela 7: Índices de verificação da qualidade do modelo neuro-fuzzy (ANFIS) quando comparado com o modelo de regressão linear.

	Germinação		Peso das Raízes		Tamanho das Raízes		Peso da Parte Aérea		Tamanho da Parte Aérea	
	NF	Regr	NF	Regr	NF	Regr	NF	Regr	NF	Regr
R^2	0,86	0,82	0,86	0,55	0,84	0,39	0,80	0,26	0,89	0,72
p-valor do R^2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
R^2 ajustado	0,86	0,82	0,86	0,54	0,84	0,39	0,80	0,25	0,89	0,72
d-Willmott	0,96	0,95	0,96	0,83	0,95	0,74	0,94	0,63	0,97	0,91
MAE	0,50	0,55	0,79	1,37	0,57	1,09	0,12	0,28	0,23	0,38
MSE	0,40	0,52	0,99	3,14	0,54	2,02	0,03	0,10	0,10	0,25
RMSE	0,63	0,72	0,99	1,77	0,74	1,42	0,17	0,32	0,31	0,50
NMSE	0,14	0,18	0,14	0,45	0,16	0,61	0,20	0,74	0,11	0,28
NRMSE	0,35	0,39	0,34	0,60	0,36	0,69	0,43	0,96	0,34	0,55
a_0		15,74		7,89		8,49		1,21		2,54
a_1		-0,045		0,057		0,034		0,006		0,024

Esses resultados são reflexo da qualidade do treinamento do modelo (Figura 16), em que os asteriscos representam os valores reais valores de saída e os círculos os preditos pelo modelo. Percebe-se, portanto, que os valores coincidem em quase todas as vezes e em outras apresentam pequenos desvios, sendo mais uma evidência da qualidade de aprendizagem do modelo.

Figura 16: Valores preditos pelo modelo ANFIS em comparação com valores reais da variável de saída.



5 CONCLUSÃO

Em relação à germinação, ficou comprovado que, conforme se aumentou a dose de ácido bórico no tratamento de semente, diminuiu-se a germinação da semente, tendo em vista a acidez que os tratamentos proporcionam à semente de amendoim.

Por mais prejudicial que as doses de ácido bórico tenham sido para a fase de germinação, no tratamento 4 (60 mg/Kg semente) os cultivares tiveram um maior desenvolvimento quando comparadas entre si, demonstrando valores extremamente significativos.

Os modelos ANFIS tiveram valores do coeficiente de determinação (R^2) todos superiores a 0,80, enquanto nos modelos de regressão, ficaram entre 0,26 a 0,82. Todos demais índices ANFIS apresentaram menores erros e, portanto, desempenho superior ao modelo de regressão. Isso demonstra a capacidade de aprendizado do modelo, que entende a distribuição de dados de acordo com suas próprias características, permitindo a obtenção de valores com erros pequenos ou inexistentes.

A temática abordada merece maiores pesquisas, considerando que o micronutriente boro tem função relevante na fase reprodutiva. Nesse sentido, novos trabalhos podem produzir um maior conjunto sistemático de conhecimentos que venham a trazer novos saberes sobre o tema em questão, considerando-se que a atividade de pesquisa precisa estar calcada no conhecimento, na eficiência e na prática.

REFERÊNCIAS

ALRASSAS, A. M. et al. Optimized ANFIS Model Using Aquila Optimizer for Oil Production Forecasting. **Processes**, v. 9, n. 7, p. 1194, jul. 2021.

ASCOLI, A. D. A. **Doses de fontes de boro via foliar nas características agronômicas e composição e qualidade fisiológica de sementes de feijoeiro**. 2020. 121 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP. Ilha Solteira, 2020. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/194507>. Acesso em 29 mai. 2023.

BELLETTINI, N. M. T.; ENDO, R. M. **Comportamento do amendoim “das águas”, *Arachis hypogaea* L., sob diferentes espaçamentos e densidades de semeadura**. Acta Scientiarum, Maringá, v. 23, n. 5, p. 1249-1256, 2001. Acesso em 19 jul. 2023.

BENINI, L. C.; MENEGUETTE JUNIOR, M. Uma Abordagem para modelagem de dados com o uso de Sistemas Neuro-Fuzzy: Aplicações Geoespaciais. Notas em Matemática Aplicada, v. 43, p. 88, 2009.

BERTI, M. P. D. S.; DE SÁ, M. E.; BENETT, C. G. S.; ROCHA, E. C.; BERTI, C. L. F. Doses e épocas de aplicação de boro na qualidade de sementes de soja. **Revista de Ciências Agronômicas**, v. 28, n. 2, p. 123-137, 2019. Disponível em: <https://ojs.unesp.br/index.php/rculturaagronomica/article/view/2446-8355.2019v28n2p123-137>. Acesso em 29 mai. 2023.

BETIOL, R. A. B.; VITTI, G. C.; HEUERT, J.; XAVIER, M. F. N. Efeitos da aplicação foliar de doses de boro no amendoim. Anais do XVII Encontro sobre a Cultura do Amendoim. **South American Sciences**, v. 1, n. 2, e2072, 2020. Disponível em: <https://southamericansciences.com.br/index.php/sas/article/view/72/56>. Acesso em 02 abr. 2023.

BISSOTO, F. P. **Absorção foliar de boro (10b) proveniente de fontes complexadas e mobilidade do nutriente na soja**. 2022. 53 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agronômico de Campinas. Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios, 2022. Disponível em: <https://www.iac.sp.gov.br/areadoinstitutoposgraduacao/repositorio/storage/pgiac1050.pdf>. Acesso em 29 mai. 2023.

BOLONHEZI, D., GODOY, I. J., SANTOS, R.C. Manejo cultural do amendoim. In: SANTOS, R. C., FREIRE, R.M.M., LIMA, L.M. **O Agronegócio do Amendoim no Brasil**. Embrapa Algodão, 2013, p. 81-113

CAMACHO-CRISTÓBAL, J. J.; REXACH, J.; GONZÁLEZ-FONTES, A. Boron in plants: Deficiency and toxicity. **Journal of Integrative Plant Biology**, v. 50, n. 10, p. 1247-1255, 2008. Disponível em:

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1744-7909.2008.00742.x>. Acesso em 22 mai. 2023.

CAMPOS, V. M. A. Metodologia Híbrida para a Previsão dos Preços do Mercado Elétrico com Integração Renovável. 18 jul. 2018.

CEPEA. Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. **PIB do Agronegócio de São Paulo**. 2021. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-de-sao-paulo.aspx>. Acesso em 24 mai. 2023.

CHOPRA, S. et al. Taxonomy of Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System in Modern Engineering Sciences. *Computational Intelligence and Neuroscience*, v. 2021, p. e6455592, 6 set. 2021.

CHOPRA, S. et al. Taxonomy of Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System in Modern Engineering Sciences. **Computational Intelligence and Neuroscience**, v. 2021, p. e6455592, 6 set. 2021.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Comparativo de área, produtividade e produção. Safras 2020/21 e 2021/22**. 2022b. Disponível em: https://www.conab.gov.br/component/k2/item/download/37154_46ae502e89c1758a383a86f61ae1f933. Acesso em 27 mai. 2023.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Safra Brasileira de Grãos 2021/22**. 12º Levantamento da Conab, fevereiro 2022a. Disponível em: https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos/item/download/44171_1d9f893d78f593b07d41887104acc43f. Acesso em 31 mai. 2023.

CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 6.; **Simpósio Internacional de Oleaginosa Energéticas, 3., 2014**, Fortaleza. Anais Campina Grande: Embrapa Algodão, 2014. p. 128. Acesso em 23 jun. 2023.

CRUSCIOL, C. A. C.; SORATTO, R. P. **Nutrição e produtividade do amendoim em sucessão ao cultivo de plantas de cobertura no sistema plantio direto**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 42, n.11, p. 1553-1560, 2007.

DA SILVA, R. C. D. **Nutrição com boro na soja em função de doses, modos, épocas de aplicação e disponibilidade de água no solo**. 2017. 62 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual de Goiás, Ipameri, 2017. Disponível em: https://www.bdttd.ueg.br/bitstream/tede/451/2/Renan_Cesar_Dias_da_Silva.pdf. Acesso em 29 mai. 2023.

DEAGRO. **Projeções para o agronegócio brasileiro 2029**. Departamento do Agronegócio. Federação das Indústrias do Estado de São Paulo. São Paulo, 2020, 84

p. Disponível em: <https://apps.fiesp.com.br/flipbook/files/assets/basic-html/page-4.html#>. Acesso em 31 mar. 2023.

DORZHIGULOV, A.; JAMES, A. P. **Generalized Bell-Shaped Membership Function Generation Circuit for Memristive Neural Networks**. 2019 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS). **Anais...** Em: 2019 IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON CIRCUITS AND SYSTEMS (ISCAS). maio 2019.

DSA, E. **Capítulo 15 - Algoritmo Backpropagation Parte 2 - Treinamento de Redes Neurais**. Disponível em: <https://www.deeplearningbook.com.br/algoritmo-backpropagation-parte-2-treinamento-de-redes-neurais/>>. Acesso em: 23 jul. 2023.

ECCO, M.; BACKES, J. C.; REUTER, R. F. Manejo de aplicação de boro no cultivo da soja. **Revista Científica Rural**, v. 24, n. 1, p. 12-25, 2022. Disponível em: <http://revista.urcamp.edu.br/index.php/RCR/article/view/3973/pdf>. Acesso em 29 mai. 2023.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Amendoim**. Brasília, 2009, 240 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/578407/1/500perguntasamendoim.pdf>. Acesso em 02 abr. 2023.

FERRARI, J. C.; BOIAGO, N. P. Diferentes doses via foliar do micronutriente boro na cultura da soja. **Revista Cultivando o saber**, v. 15, p. 163-171, 2022. Disponível em: <https://cultivandosaber.fag.edu.br/index.php/cultivando/article/view/1151/1035>. Acesso em 29 mai. 2023.

FERRARI NETO, J.; COSTA, C. H. M. da; CASTRO, G. S. A. Ecofisiologia do amendoim. **Scientia Agraria Paranaensis**, [S. l.], v. 11, n. 4, p. 01–13, 2013. DOI: 10.18188/sap.v11i4.6033.

FILHO, N. R. C.; JUNIOR, A. L. B.; GODOY, I. J.; LOURENÇÃO, A. L.; RIBEIRO Z. A. Resistência de Cultivares de Amendoim de Hábitos de Crescimento Ereto a *Enneothrips Flavens* Mouton (Thysanoptera: Thripidae). **Arq. Inst. Biol.**, São Paulo, v. 75, n. 2, p. 149-156, abr./jun. 2008. Disponível em: http://www.biologico.sp.gov.br/uploads/docs/arq/v75_2/chagas.pdf. Acesso em 03 abr. 2023.

FOLONI, J. S. S.; BARBOSA, A. M.; CATUCHI, T. A.; CALONEGO, J. C.; TIRITAN, C. S.; DOMINATO, J. C.; CRESTE, J. E. Efeitos da gessagem e da adubação boratada sobre os componentes de produção da cultura do amendoim. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 15, n. 2, p. 202-208, 2016. Disponível em: <https://e-revista.unioeste.br/index.php/scientiaagraria/article/view/11419>. Acesso em 02 abr. 2023.

FUJIYAMA, B. S. **Boro melhora a fotossíntese, alivia os danos da restrição hídrica, promove o crescimento e produtividade em soja**. 2019. 68 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal Rural da Amazônia. 2019. Disponível em: <http://repositorio.ufra.edu.br/jspui/handle/123456789/687>. Acesso em 29 mai. 2023.

FURLANI, A. M. C.; TANAKA, R. T.; TARALLO, M.; VERDIAL, M. F.; MASCARENHAS, H. A. A. Exigência a boro em cultivares de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 929-937, 2001. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/fBcQt6NPdJbdCHQsMwtw4Xr/abstract/?lang=pt>. Acesso em 31 mar. 2023.

Hammad, M., Baloch, FS, Amjad, M., & Ibrahim, M. (2020). Amendoim (*Arachis hypogaea* L.) Produtividade, Limitações e Oportunidades: Uma Revisão. *Agronomia*, 10(2), 207. Acesso em 04 abr. 2023

HARRIS, H. C.; GILMAN, R. L. Effect of boron on peanuts. **Soil Science**, v. 84, n. 3, p. 233-242, 1957. Disponível em: https://journals.lww.com/soilsci/Citation/1957/09000/Effect_of_Boron_on_Peanuts.7.aspx. Acesso em 07 abr. 2023.

HODSON, T. O. Root-mean-square error (RMSE) or mean absolute error (MAE): when to use them or not. **Geoscientific Model Development**, v. 15, n. 14, p. 5481–5487, 19 jul. 2022.

IEA. Instituto de Economia Agrícola. **Amendoim: em 2022, as exportações do grão fortaleceram novos mercados, enquanto as do óleo registraram alta**. 2023. Disponível em: <http://www.iea.agricultura.sp.gov.br/out/TerTexto.php?codTexto=16115>. Acesso em 04 abr. 2023.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo, Agronômica Ceres, 2006, 638 p.

MANTOVANI, J. P. M. **Adubação boratada foliar na cultura de amendoim**. 2011. 33 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade do Oeste Paulista – UNOESTE. Presidente Prudente – SP, 2011. Disponível em: <http://bdtd.unoeste.br:8080/jspui/handle/tede/548>. Acesso em 05 abr. 2023.

MANTOVANI, J. P. M.; CALONEGO, J. C.; FOLONI, J. S. S. Adubação foliar de boro em diferentes estádios fenológicos da cultura do amendoim. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 60, n. 2, p. 270-278, mar./abr., 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rceres/a/NwQdVLbK5d7bBPDqfwh5TJr/?lang=pt>. Acesso em 06 abr. 2023.

MARCOS FILHO, J.; CÍCERO, S. M.; SILVA, W. R. **Avaliação da qualidade das sementes**. Piracicaba: FEALQ, 1987. 230p.

MARQUES, A. R. S.; LOURENZANI, A. E. B.; VIEIRA, A. C. P. O sistema agroindustrial do amendoim na microrregião de Tupã: novos arranjos institucionais. **Agropecuária, Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável**. 1ª Ed. V. 1. Piracanjuba – GO: Conhecimento Livre, 2020. Disponível em: <https://sober.org.br/mrepkeywords/sistema-agroindustrial/>. Acesso em 01 abr. 2023.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. San Diego, Academic Press. 1995, 889 p.

MARTIN, P. S. **Amendoim: uma planta da história no futuro brasileiro**. Ed. Ícone, 1985, 68 p.

MEHRAN, K. Takagi-Sugeno Fuzzy Modeling for Process Control. 2008.

OLIVEIRA, E. R.; PEIXOTO, C. P.; TRINDADE, A. A.; COSTA, J. A.; VIEIRA, E. L.; CUNHA, D. O.; PEREIRA, V. D. S. Crescimento inicial de plantas de amendoim oriundas de sementes tratadas com bioativador e bioestimulante. *In*: XVIII ENCONTRO SOBRE A CULTURA DO AMENDOIM. **Anais**, p. 1-9, 2021. Disponível em: <https://southamericansciences.com.br/index.php/sas/article/view/110/129>. Acesso em 01 abr. 2023.

ONEMLI F. Impact of climate change on oil fatty acid composition of peanut (*Arachis hypogaea* L.) in three market classes. **Chilean J Agric Res** 2012;72(4):483–8.

PIERRE, A. K. et al. Foliar Fertilization as a Strategy to Increase the Proportion of Mature Pods in Peanut (*Arachis hypogaea* L.). **Peanut Science**, v. 46, n. 2, p. 140-147, 2019

POPINIGIS, F. **Fisiologia da semente**. Brasília: AGIPLAN, 1985. 289p.

PRADO, R. D. M. **Nutrição de plantas**. Ed. Unesp, ed. Ampliada e revista, 2020, 416 p.

REJULA, M. A.; AMUTHA, S.; SHILPA, G. M. Classification of acute lymphoblastic leukemia using improved ANFIS. **Multimedia Tools and Applications**, 30 mar. 2023.

RIVERA. P. JR Agro. **CEO da Beatrice fala sobre o impacto da guerra na Ucrânia na exportação de amendoins**. 25 mar. 2022. Disponível em: <https://noticias.r7.com/jr-24h/conteudo-exclusivo/jr-agro/videos/jr-agro-ceo-da-beatrice-peanuts-fala-sobre-o-impacto-da-guerra-na-ucrania-na-exportacao-de-amendoins-23052022>. Acesso em 02 abr. 2023.

SALATI, P. **De onde vem o que como: guerra entre Rússia e Ucrânia impacta amendoim brasileiro**. 02 mar. 2022. Disponível em:

<https://g1.globo.com/economia/agronegocios/agro-a-industria-riqueza-do-brasil/noticia/2022/03/02/de-onde-vem-o-que-eu-como-guerra-entre-russia-e-ucrania-impacta-amendoim-brasileiro.ghtml>. Acesso em 01 abr. 2023.

SAMPAIO, R. M. Amendoim: em 2022, as exportações do grão fortaleceram novos mercados, enquanto as do óleo registraram alta. **Análises e Indicadores do Agronegócio**, São Paulo, v. 18, n. 1, p. 1-7, jan. 2023. Disponível em: <http://www.iea.agricultura.sp.gov.br/out/TerTexto.php?codTexto=16115>. Acesso em 03 abr. 2023.

SAMPAIO, R. M. Tecnologia e Inovação: evolução e demandas na produção paulista de amendoim. **Informações Econômicas**, v. 46, n. 4, jul./ago. 2016. Disponível em: <http://www.iea.sp.gov.br/ftp/iea/IE/2016/tec3-0816.pdf>. Acesso em 03 abr. 2023.

SHUKLA, R. et al. Modeling of stage-discharge using back propagation ANN-, ANFIS-, and WANN-based computing techniques. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 147, n. 3, p. 867–889, 1 fev. 2022.

SOUZA, E. S. D.; ROMAN, M. D. S. **Adubação foliar com boro em diferentes estádios fenológicos da soja**. 2018. 35 p. Monografia (Graduação em Engenharia Agrônoma). Universidade Federal da Grande Dourados, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufgd.edu.br/jspui/handle/prefix/2785>. Acesso em 29 mai. 2023.

TALPUR, N.; SALLEH, M. N. M.; HUSSAIN, K. An investigation of membership functions on performance of ANFIS for solving classification problems. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 226, n. 1, p. 012103, ago. 2017.

VASCONCELOS, F. M. T.; VASCONCELOS, R. A. D.; LUZ, L. N. D.; CABRAL, N. T.; DE OLIVEIRA JÚNIOR, J. O. L.; SANTIAGO, A. D.; SGRILLO, E.; FARIAS, F. J. C.; FILHO, P. D. A. M.; DOS SANTOS, R. C. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos eretos de amendoim cultivados nas regiões Nordeste e Centro-Oeste. **Ciência Rural**, v. 45, n. 08, p. 1375-1380, ago. 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/SVQWrzgg6pZScNRp4jsRP9y/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em 03 abr. 2023.

YAMADA, T. **Boro: será que estamos aplicando a dose suficiente para o adequado desenvolvimento das plantas?** Informações Agronômicas n.90. Potafós, jun. 2000, 20 p. Disponível em: [http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/501935EA5234F79C83257AA300699E8A/\\$FILE/Jornal%2090.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/501935EA5234F79C83257AA300699E8A/$FILE/Jornal%2090.pdf). Acesso em 05 abr. 2023.

ZHOU, S.-M. et al. Constructing Compact Takagi-Sugeno Rule Systems: Identification of Complex Interactions in Epidemiological Data. **PLOS ONE**, v. 7, n. 12, p. e51468, 14 dez. 2012.

