

CLEVERSON AGUEIRO DE CARVALHO



**PRODUÇÃO DE MUDAS DE RAMBUTEIRA NO
SUDOESTE DA AMAZÔNIA**

RIO BRANCO - AC

2023

CLEVERSON AGUEIRO DE CARVALHO

**PRODUÇÃO DE MUDAS DE RAMBUTEIRA NO
SUDOESTE DA AMAZÔNIA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal, da Universidade Federal do Acre, como parte das exigências para obtenção do título de Doutor em Agronomia.

Orientador: Dr^a Regina Lúcia Félix Ferreira
Coorientador: Dr. Felipe Coelho de Souza

RIO BRANCO - AC

2023

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da UFAC

C331p Carvalho, Cleverson Agueiro de, 1992 -

Produção de mudas de rambuteira no sudoeste da Amazônia / Cleverson Agueiro de Carvalho; Orientador: Dra. Regina Lúcia Félix Ferreira e Coorientador: Dr. Felipe Coelho de Souza. – 2023.

87 f. :il; 30 cm.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Acre, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de concentração em Produção Vegetal, Rio Branco, 2023.

Inclui referências bibliográficas e apêndice.

1. adubação. 2. *Nephelium lappaceum*. 3. Rambutan. I. Ferreira, Regina Lúcia Félix. II. Souza, Felipe Coelho de. III. Título.

CDD: 338.1

Bibliotecário: Uéliton Nascimento Torres CRB-11º/1074

CLEVERSON AGUEIRO DE CARVALHO

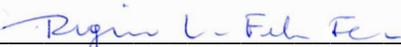
PRODUÇÃO DE MUDAS DE RAMBUTEIRA NO SUDOESTE DA AMAZÔNIA

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal, da Universidade Federal do Acre em parceria com a Embrapa Acre, como parte das exigências para obtenção do título de Doutor em Agronomia.

Orientadora: Dr^a Regina Lúcia Félix Ferreira
Coorientador: Dr. Felipe Coelho de Souza

Aprovada em 22 de março de 2023.

BANCA EXAMINADORA



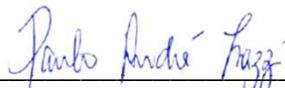
Dr^a Regina Lúcia Félix Ferreira
Orientadora - UFAC



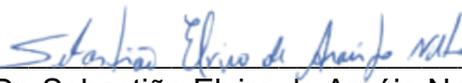
Dr. Reginaldo Almeida Andrade
Examinador (UNIR)



Dr. Nei Sebastião Braga Gomes
Examinador (UFAC)



Dr. Paulo André Trazzi
Examinador (UFAC)



Dr. Sebastião Elviro de Araújo Neto
Examinador (UFAC)

Aos meus pais, Clodoaldo de Carvalho e Ana Célia Agueiro.
Aos mestres, Eloi Lopes da Silva, Domingas da Silva Vilela e Maria Zélia Agueiro.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer ao Eterno Deus Pai, Filho e Espírito Santo. Toda glória a ti, Deus todo poderoso, criador do céu, da terra e de tudo que há. Também expresso minha gratidão à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos do curso de Doutorado, que tornou possível a realização desta pesquisa.

Aos meus orientadores, Regina Lúcia e Felipe Coelho, dedico minha sincera gratidão. Obrigado por me acolherem e dedicarem o tempo para me ensinar, sanar dúvidas e auxiliar nas atividades desenvolvidas. Suas correções e conversas sobre o tema foram fundamentais para que eu desenvolvesse a pesquisa.

A minha família, minha base e meu sustento, composta pelos meus pais Clodoaldo Rodrigues de Carvalho e Ana Célia Agueiro, merece um agradecimento especial. A eles, busquei em todo tempo honrar com as minhas palavras e atitudes e que em mim confiaram para enviar a outro Estado. Meu irmão, Lucas Carvalho, que me acompanhou no Acre, continue firme e forte nos seus estudos. A minha esposa, Juscineia dos Santos, sua paciência e compreensão foram fundamentais para que eu pudesse me concentrar nos estudos e superar os desafios acadêmicos. Suas palavras de incentivo me motivaram a continuar, você foi uma presença constante em minha vida, me dando suporte emocional e me encorajando a seguir em frente. Eu amo vocês e sei que a conquista não é somente minha, mas nossa! Agradeço também aos meus parentes, especialmente aos meus avós Geraldo Rodrigues, Cléa Vieira (*in memoriam*), Anacleto Brites e Zélia Agueiro.

Não posso deixar de agradecer aos meus companheiros de turma, que compartilharam momentos de aprendizado e foram fundamentais na minha formação acadêmica. Desejo a todos, sucesso profissional e que sejam pessoas realizadas. Amigos queridos, Reginaldo Almeida, Rychaellen Brito, Weverton Peroni, vocês foram pessoas fundamentais nessa caminhada.

E por fim, gostaria de citar uma frase de Paulo de Tarso: "Não fiquem devendo nada a ninguém. A única dívida que vocês devem ter é a de amar uns aos outros. Quem ama os outros está obedecendo à lei". A todos que, direta ou indiretamente, fizeram parte da minha formação, meus sinceros e profundos agradecimentos!

Muito obrigado!

Confie no Senhor de todo o coração e não se apoie na sua própria inteligência. Lembre-se de Deus em tudo o que fizer, e ele lhe mostrará o caminho certo. Não fique pensando que você é sábio; tema ao Senhor e não faça nada que seja errado.

Provérbios de Salomão

Resumo

A rambuteira é uma árvore tropical cultivada em diversas regiões do mundo, incluindo o Brasil, pela alta produtividade e fruto rico em antioxidantes, além de ser uma fonte de renda para agricultores locais. Entretanto, para expansão dos cultivos comerciais é necessário a disponibilidade de mudas de qualidade, e um dos principais desafios é selecionar de forma adequada as sementes que serão utilizadas, o substrato que dará suporte ao crescimento e desenvolvimento inicial da planta, o tipo e a quantidade de fertilizante que deverá ser adicionada ao substrato. Por isso, é importante estudar técnicas eficientes para avaliar a qualidade das sementes, o uso de substratos alternativos e doses de fertilizante para produzir mudas de rambuteira. Para avaliar a qualidade das sementes de rambuteira, é possível utilizar testes de germinação e vigor. O objetivo deste estudo foi avaliar a qualidade fisiológica das sementes de rambuteira por meio do método de condutividade elétrica e avaliar o efeito de doses de fertilizante de liberação controlada em substratos alternativos na formação e qualidade de mudas de rambuteira. A pesquisa foi realizada no Laboratório de Análise de Sementes Florestais da Fundação de Tecnologia do Acre para avaliar a qualidade fisiológica das sementes de rambuteira. As sementes foram coletadas em quatro microrregiões e submetidas à avaliação do teor de água, porcentagem de germinação, índice de velocidade de emergência, tempo médio de germinação e teste de condutividade elétrica. Para avaliar a influência das doses de fertilizante de liberação controlada em substratos alternativos na formação e qualidade de mudas de rambuteira, o experimento foi realizado no viveiro florestal da Fundação de Tecnologia do Acre. O delineamento experimental foi casualizado em esquema fatorial 4 x 5 (substratos e doses de fertilizante), totalizando 20 tratamentos, sendo 10 repetições para cada. O teste de condutividade elétrica foi eficaz para avaliar o vigor das sementes. A utilização de substrato composto orgânico resultou em mudas de qualidade superior, com benefícios significativos ao incluir a casca de castanha na composição. O teste de condutividade elétrica é uma técnica útil para avaliar a qualidade das sementes de rambuteira. Para produzir mudas de qualidade, a utilização de substratos alternativos e fertilizantes de liberação controlada foi comprovada como uma prática eficaz. A inclusão de resíduos agroflorestais na composição dos substratos demonstrou ser uma prática sustentável e vantajosa, pois além de fornecer uma destinação adequada para esses materiais, resultou em benefícios para o desenvolvimento das mudas de rambuteira.

Palavras-chave: adubação, *Nephelium lappaceum*, rambutan, vigor.

Abstract

Rambutan is a tropical tree grown in several regions of the world, including Brazil, for its high productivity and fruits rich in antioxidants and vitamin C. However, seed quality is a challenge for the production of quality seedlings, as well as the choice of substrate. Therefore, it is important to study efficient techniques to evaluate the quality of seeds, alternative substrates and controlled release fertilizers to produce superior rambutan seedlings. The objective of this work was to evaluate the physiological quality of rambutan seeds using the electrical conductivity method and to evaluate the effect of controlled doses of release fertilizers on alternative substrates on the formation and quality of rambutan seedlings. The research was carried out at the Laboratory of Forest Seed Analysis of Acre Technology Foundation to evaluate the physiological quality of rambutan seeds. The seeds were collected from four microregions and submitted to procedures for water content, germination percentage, emergence speed index, mean germination time and electrical conductivity test. To evaluate the effect of doses of controlled release fertilizers on alternative substrates on the formation and quality of rambutan seedlings, the experiment was conducted in the Forest Nursery of the Acre Technology Foundation. The experimental design used was the randomized, in a factorial scheme 4 x 5 (substrates and fertilizer doses), totaling 20 treatments, with 30 plants each. The study revealed significant differences between the seed lots tested, with lot 4 presenting the best physiological quality. The electrical conductivity test was effective in evaluating seed vigor. The use of organic compound substrate resulted in seedlings of superior quality, with significant benefits, including the inclusion of chestnut peels in the composition. The electrical conductivity test is a useful technique for evaluating the quality of rambutan seeds. To produce seedlings of superior quality, the use of alternative substrates and controlled release fertilizers proved to be an effective practice. The inclusion of agroforestry residues in the substrate composition proved to be a sustainable and advantageous practice, as it not only provided an adequate destination for these materials, but also resulted in benefits for the development of rambutan seeds.

Keywords: fertilization, *Nephelium lappaceum*, rambutan, vigor.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	9
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
2. 1 RAMBUTAN	11
2. 2 VIGOR DE SEMENTES: A IMPORTÂNCIA DO TESTE DE CONDUTIVIDADE	12
2. 3 PRODUÇÃO DE MUDAS	14
2. 3. 1 Alternativas sustentáveis e viáveis para a produção de substratos	14
2. 3. 2 Fertilizantes na produção de mudas: benefícios e impactos socioambientais.....	16
2. 3. 3 Fertilização convencional versus liberação controlada.....	17
2. 3. 4 A influência dos macros e micronutrientes na fisiologia e produção de plantas ..	18
REFERÊNCIAS	20
3 CAPÍTULO I: Qualidade fisiológica de sementes de rambuteira (<i>Nephelium lappaceum</i> L.) submetidas à condutividade elétrica	25
RESUMO	26
ABSTRACT	26
3. 1 INTRODUÇÃO.....	27
3. 2 METODOLOGIA	28
3. 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
3. 4 CONCLUSÕES.....	34
REFERÊNCIAS	34
4 CAPÍTULO II: Substratos alternativos e fertilizante de liberação controlada na produção de mudas de rambuteira	37
RESUMO	38
ABSTRACT	38
4. 1 INTRODUÇÃO.....	39
4. 2 METODOLOGIA	40
4. 3 RESULTADOS	43
4. 4 DISCUSSÃO.....	48
4. 5 CONCLUSÕES.....	52
REFERÊNCIAS	53
5 CONCLUSÃO GERAL	57
APÊNDICE	58

1 INTRODUÇÃO GERAL

A rambuteira (*Nephelium lappaceum* L.) é uma espécie frutífera que se destaca pela produção de frutos suculento, saboroso e com alto valor nutricional. Originária da Indonésia e Malásia, ela pode ser encontrada também em outras partes da Ásia, América Central e América do Sul (WINDARSIH, 2022). Popularmente conhecido como rambutan, rambutão ou rambutã, o fruto é rico em nutrientes como vitamina C, fibras, minerais e antioxidantes, o que o torna altamente valorizado na culinária e na medicina tradicional (BHATTACHARJEE et al., 2022).

A árvore é uma das mais altas da família Sapindaceae, podendo atingir até 20 m de altura (RASHIED et al., 2022). O fruto pode ser consumido in natura ou em preparações de compotas, geleias e marmeladas (TSONG et al., 2021), e seu consumo regular tem sido associado a benefícios para a saúde, como prevenção de doenças cardiovasculares e aumento da imunidade (TORGBO et al., 2022; YUSLIANTI et al., 2021; LEE et al., 2020).

Nos últimos anos, ocorreu uma expansão dos cultivos de rambuteira no país devido à crescente demanda pelos seus frutos. Além disso, o Brasil apresenta condições edafoclimáticas favoráveis para seu cultivo, com clima quente e úmido que favorece o crescimento e desenvolvimento das plantas (ANDRADE et al., 2017). É válido destacar que a produção da espécie no país ainda é incipiente, e enfrenta vários desafios, como a escassez de informações sobre o manejo, e tecnologias associadas à sua propagação, seja por via vegetativa ou seminífera.

A baixa qualidade das sementes é um dos principais fatores que pode prejudicar a formação adequada de mudas frutíferas, e resulta em povoamentos desuniformes e mal estabelecidos. No entanto, os testes de germinação em laboratório podem ser demorados, o que pode ser um problema para algumas espécies, como a rambuteira, que requerem 21 dias para contar a germinação (RASHIED et al., 2022). Por isso, métodos que preveem a germinação em menor tempo podem ajudar empresas de sementes a tomar decisões rápidas sobre gerenciamento de lotes e aumentar sua eficiência (HAN et al., 2022).

A condutividade elétrica (CE) é um teste que permite a detecção rápida de deterioração de sementes e baseia-se no processo de dano de membranas e liberação de lixiviados que ocorre quando as sementes são embebidas em água, devido à perda da integridade celular (SOLEYMANI, 2019). Este método tem sido amplamente utilizado para avaliar a qualidade fisiológica de sementes de diversas espécies, tais como cerejeira (VASCONCELOS et al., 2019), jurema (SILVA et al., 2022) e quixabeira (SENA et al., 2022).

O teste de condutividade elétrica é baseado na capacidade das sementes em liberar eletrólitos, como íons e outras substâncias solúveis em água, quando em contato com a água. A quantidade de eletrólitos liberados está diretamente relacionada à integridade das membranas celulares das sementes, que, quando danificadas, permitem a liberação dessas substâncias. Altos valores de condutividade elétrica estão associados a sementes de baixa qualidade fisiológica, em virtude à degradação e desordem das membranas celulares, um processo metabólico irreversível (SOLEYMANI, 2019). Em estudo realizado com sementes de pêssago, Souza et al. (2019) observou que, as sementes com baixo vigor estão associadas ao aumento da concentração de lixiviados na solução. Com isso, foi possível selecionar as sementes com maior qualidade fisiológica no período de 24 h.

O substrato é um fator chave no crescimento e desenvolvimento das plantas em viveiro, sendo responsável pela disponibilidade de água, nutrientes e oxigênio (ARAÚJO et al., 2017). No entanto, a dependência de substratos comerciais produzidos nos grandes centros distantes das regiões produtoras, pode aumentar os custos e o valor final da muda. Por isso, o preparo de substratos com materiais locais adequados e renováveis pode ser uma opção barata e viável, podendo garantir a sustentabilidade e reduzir custos na produção (MANCA, 2020).

O composto orgânico é uma opção promissora para o crescimento das mudas. Segundo Malavolta (2006), esses materiais possuem propriedades físico-químicas favoráveis para o desenvolvimento das plantas. Além do composto orgânico, outros materiais também têm potencial para ser utilizados como substratos alternativos na região amazônica, como plantas espontâneas (capim braquiária, pueraria, carrapicho, entre outros) e casca de castanha-do-brasil, por exemplo, dado sua disponibilidade pode ser economicamente e ecologicamente viável, reduzindo os custos e impacto ambiental na produção de mudas. Soares et al. (2014) apontam a casca de castanha-do-brasil como um material orgânico promissor, que reutiliza nutrientes presentes na composição do resíduo.

Além disso, o uso de substratos alternativos pode diminuir a dependência de substratos oriundos de outras regiões do país e possibilitar a produção de materiais com melhores propriedades físicas e químicas, favorecendo o crescimento das plantas em viveiro e melhorando a qualidade das mudas. Dessa forma, este estudo pode auxiliar produtores e pesquisadores a desenvolverem novas técnicas e estratégias para aprimorar a produção de mudas de rambuteira e, conseqüentemente, impulsionar o crescimento da fruticultura no país.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta revisão, será abordada a espécie *Nephelium lappaceum*, também conhecida como rambuteira, uma espécie exótica com alto potencial de exploração na região Amazônica. Entretanto, para a expansão sustentável da atividade na região é imprescindível a disponibilidade de mudas em quantidade e qualidade. É importante ressaltar que a qualidade das sementes desempenha um papel fundamental no sucesso dos pomares, visto que sementes de baixa qualidade podem resultar em plantas menos vigorosas e pouco produtivas. Além disso, para a produção de mudas, é necessário considerar o substrato e os níveis de fertilização adequados para obter plantas de alto vigor que possam ter ótimo desenvolvimento no campo.

2.1 RAMBUTAN

A espécie *Nephelium lappaceum* L., popularmente conhecida como rambuteira, é uma árvore frutífera tropical de origem Malaia (sudeste da Ásia) que pertence à família Sapindaceae (RASHIED et al., 2022). Existem nove espécies de rambuteira que produzem frutos consumíveis em todo o mundo, sendo a *Nephelium lappaceum* a mais conhecida e propagada (WINDARSIH, 2022).

A árvore de rambutan é uma espécie dióica, o que significa que há árvores masculinas e femininas separadas. As árvores masculinas produzem flores masculinas e não produzem frutos, enquanto as árvores femininas produzem flores femininas que se transformam em frutos (ANDRADE et al., 2009). No entanto, em algumas variedades de rambutan, as árvores podem produzir flores masculinas e femininas, tornando-as hermafroditas. Nesse caso, as árvores podem produzir frutos sem a necessidade de outras árvores para a polinização cruzada (RASHIED et al., 2022).

As folhas são perenes, alternadas, compostas e imparipenadas, com cerca de 5 a 9 folíolos de formato elíptico a oblongo. A rambuteira apresenta raiz pivotante, que se aprofunda em solos arenosos e bem drenados. A árvore possui copa arredondada e densa, com uma casca lisa e acinzentada. As flores da rambuteira são pequenas, com cerca de 2 a 3 mm de diâmetro, e possuem cinco pétalas brancas e cinco sépalas verdes (ANDRADE et al., 2009; LI et al., 2018).

A etimologia do termo 'rambutan' deriva o de "rambut", uma palavra malaio-indonésia que significa cabeludo (MAHMOOD et al., 2018). Quando cultivados em condições adequadas para seu crescimento, e sem a prática de podas, as plantas podem atingir de 12 a 20 metros de comprimento (LI et al., 2018). As inflorescências

da rambuteira são compostas por muitas flores, sendo, conseqüentemente, os frutos produzidos em cachos na porção final do galho, podendo chegar a render até quase 70 kg por árvore (ANDRADE et al., 2009; TRIPATHI et al., 2020).

O fruto é comestível, com casca avermelhada que contém estruturas flexíveis em formato de espinhos que envolve um arilo branco, sendo aproveitadas todas as partes da fruta, sejam comestíveis ou não, pois apresentam propriedades anti-inflamatória, antioxidante, antimicrobiana e hipoglicêmica presentes em sua casca, semente, polpa ou até folhas (PERUMAL et al., 2021; BHATTACHARJEE et al., 2022), e propriedades alimentícias, podendo ser consumidas tanto in natura quanto como ingrediente para sucos, compotas e geleias, já que apresenta um fruto doce e succulento (TORGBO et al., 2022).

O rambutan é uma fruta exótica introduzida na Amazônia em 1980. Desde então, a espécie encontrou condições favoráveis para o seu crescimento e se tornou um fruto muito apreciado pela população. O Brasil tem potencial para se tornar um grande produtor de rambutan, pois possui condições climáticas ideais para o cultivo em várias regiões, como Amazonas, Acre, Bahia, São Paulo, Pará e Rondônia (ANDRADE et al., 2009; SACRAMENTO et al., 2013).

No entanto, a produção brasileira de rambutan ainda é pequena em comparação com outros países produtores, como a Indonésia, Tailândia, Malásia e Filipinas. Estima-se que o Brasil produza cerca de 4,5 mil toneladas, enquanto a Indonésia produziu 874,5 mil toneladas em 2021, representando 55% da produção global (TRIPATHI et al., 2020; STATISTA, 2023). Apesar do aumento da demanda, o cultivo de rambuteira no Brasil ainda enfrenta desafios, como a escassez de informações em tecnologia de sementes. Ainda assim, o potencial como cultura comercial no Brasil é promissor, principalmente devido às condições climáticas favoráveis em várias regiões do país (ANDRADE et al., 2009).

2. 2 VIGOR DE SEMENTES: A IMPORTÂNCIA DO TESTE DE CONDUTIVIDADE

O teste de vigor é uma técnica utilizada para avaliar a qualidade fisiológica das sementes, que consiste em medir a capacidade das sementes de germinar e estabelecer plantas saudáveis e vigorosas, mesmo em condições adversas. Essas condições podem ser a exposição a temperaturas extremas, estresse hídrico ou falta de nutrientes. O teste de vigor é fundamental para garantir que as sementes tenham a capacidade de germinar em diferentes condições, além de auxiliar na identificação

de sementes que possam apresentar algum problema ou defeito (KRZYZANOWSKI et al., 2020).

Além disso, o teste de vigor pode complementar o teste de germinação, já que esse pode não ser suficiente para avaliar a qualidade das sementes. Dessa forma, os testes de vigor são importantes ferramentas para os produtores de mudas, pois permitem a seleção de sementes de alta qualidade, o que resulta em mudas mais vigorosas e saudáveis, além de um melhor desempenho na produção (HAN et al., 2022).

Algumas das principais técnicas de avaliação de vigor de sementes incluem o teste de envelhecimento acelerado, no qual as sementes são submetidas a um ambiente de alta umidade e temperatura, o teste de tetrazólio, que avalia a atividade das enzimas respiratórias da semente, e o teste de condutividade elétrica, que mede a liberação de eletrólitos das sementes quando expostas em água (KRZYZANOWSKI et al., 2020).

Entre essas técnicas, destaca-se o teste de condutividade elétrica (CE). Este teste se baseia na medida da condutividade elétrica da solução em que as sementes foram embebidas, após um período pré-determinado. A água absorvida pelas sementes transporta compostos solúveis como açúcares, proteínas, sais minerais e ácidos orgânicos, que podem indicar o potencial de germinação e o vigor das sementes. Após o período de embebição, verifica a condutividade elétrica dos compostos solúveis na solução (SOLEYMANI, 2019).

As sementes de alta qualidade liberam menos compostos solúveis na água, o que resulta em uma menor condutividade elétrica. Por outro lado, sementes de baixa qualidade, que podem ter sido danificadas e apresentar rompimento da membrana celular, causada pelo armazenamento inadequado ou pela colheita, liberam mais compostos solúveis na água, o que aumenta a condutividade elétrica (KRZYZANOWSKI et al., 2020).

O teste de CE tem se mostrado eficaz para avaliar a qualidade fisiológica de sementes de diversas espécies, como cerejeira, jurema e quixabeira, entre outras (VASCONCELOS et al., 2019; SILVA et al., 2022; SENA et al., 2022). Em um estudo com sementes de pêssigo, Souza et al. (2019) observaram que o teste de CE foi capaz de detectar rapidamente sementes de baixo vigor, permitindo a seleção das sementes com maior qualidade fisiológica em um período de 24 horas.

Além da rapidez na obtenção dos resultados, o teste de CE apresenta outras vantagens em relação aos outros testes de vigor, pois é mais simples e requer menos

equipamentos, além de permitir a avaliação de um grande número de sementes em um curto período de tempo (HAN et al., 2022).

Portanto, é importante considerar a realização de testes de vigor de sementes para garantir a qualidade das sementes utilizadas na produção de mudas. O teste de condutividade elétrica pode ser uma alternativa útil para avaliar rapidamente a qualidade fisiológica das sementes.

2. 3 PRODUÇÃO DE MUDAS

A produção de mudas é um processo importante na fruticultura, uma vez que a qualidade das mudas influencia diretamente na produtividade e no sucesso do plantio. A utilização de boas práticas de cultivo em viveiros é essencial para garantir mudas vigorosas e de qualidade, resultando em uma boa taxa de sobrevivência no campo (GOMES et al., 2019).

O substrato é um dos fatores fundamentais para o sucesso da produção de mudas em viveiros. De acordo com Araújo et al. (2017), um substrato ideal deve apresentar boa capacidade de retenção de água e nutrientes, boa aeração e porosidade, ter pH próximo ao neutro, apresentar baixa condutividade elétrica, ser livre de sementes de plantas daninhas e patógenos, além de ser baixo custo. A utilização de substratos com qualidade é importante para o desenvolvimento adequado do sistema radicular das mudas, garantindo um bom crescimento e nutrição das plantas (GOMES et al., 2019).

Além disso, a fertilização é fundamental para o desenvolvimento adequado das mudas. A utilização de adubos orgânicos e fertilizantes inorgânicos podem garantir a disponibilidade de nutrientes essenciais para o crescimento das plantas, desde que as condições físicas e biológicas do material sejam adequadas. A quantidade e o tipo de fertilizante a ser utilizado depende das exigências nutricionais de cada espécie, das características físicas do substrato e das condições ambientais do viveiro. É importante que o produtor tenha conhecimento das necessidades nutricionais das espécies que estão sendo cultivadas para poder fornecer a quantidade adequada de nutrientes (GUTIÉRREZ et al., 2022).

2. 3. 1 Alternativas sustentáveis e viáveis para a produção de substratos

O substrato de alta qualidade é fundamental para o sucesso da produção de mudas. O substrato é responsável por fornecer água, nutrientes, oxigênio e suporte

para as raízes e parte aérea das mudas (ARAÚJO et al., 2017). Para reduzir os custos de produção de mudas e evitar o transporte de substratos comerciais de regiões distantes, é possível utilizar materiais locais e renováveis para a produção de substratos (MANCA, 2020). Diversas pesquisas têm sido realizadas com o objetivo de encontrar alternativas aos substratos comerciais, como por exemplo, a utilização de materiais como o esterco curtido, a areia, o pó de carvão, a fibra de coco, o pó de rocha, casca de frutas como cupuaçu e cacau, caroços de acerola ou açai, plantas espontâneas, casca de castanha-do-brasil dentre outros (SOARES et al., 2014).

Estudo realizado por Ribeiro et al. (2021) avaliou a utilização de capim braquiária como componente de substratos para produção de mudas de itaúba. Concluiu que o capim braquiária pode ser utilizado como material renovável para a produção de substratos para mudas, apresentando características físicas e químicas adequadas para o desenvolvimento das plantas.

Outra opção é a utilização da casca de castanha-do-brasil como componente de substratos, que além de ser um material local, também é um resíduo agroindustrial. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o Acre ocupa o terceiro lugar na produção e extração de castanha do Brasil com 9,8 toneladas em 2021. No entanto, o beneficiamento da castanha-do-brasil, que envolve a remoção da casca, é responsável por gerar uma grande quantidade de resíduos. Segundo Souza e Silva (2021), cerca de 90% do fruto é descartado, resultando em cerca de 1,9 kg de resíduos por ouriço.

Além disso, a casca da castanha pode ser utilizada como biofertilizante, devido à presença de nutrientes que ajudam no desenvolvimento das plantas, como macro e micronutrientes (ALVES et al., 2020). A casca da castanha-do-brasil contém magnésio, cálcio, manganês, ferro, cobre, fósforo e zinco, que são componentes importantes para a nutrição das plantas e para o bom crescimento das mesmas. Apesar disso, a casca apresenta baixa capacidade de retenção de água e alta densidade (SOARES et al., 2014), o que requer a complementação de outro material que possua aptidão para a retenção de água e para manter a qualidade do substrato.

No entanto a casca de castanha-do-brasil pará tem uma alta relação C/N (carbono/nitrogênio), o que significa que é rico em carbono e pobre em nitrogênio. Quando usado como substrato de mudas, a decomposição da casca de castanha-do-pará consome nitrogênio do solo para a quebra da celulose e lignina presente em sua

composição, o que pode levar a uma deficiência de nitrogênio nas mudas (SOARES et al., 2014).

Estudo realizado por Araújo et al. (2020) avaliou a utilização da casca de castanha-do-brasil em substratos para produção de mudas de açaí. Os resultados indicaram que a casca de castanha-do-brasil pode ser utilizada como componente de substratos para produção de mudas, promovendo um desenvolvimento adequado das plantas.

Dessa forma, a utilização de materiais locais e renováveis como capim braquiária e casca de castanha-do-brasil pode ser uma alternativa econômica e ecologicamente viável para a produção de mudas, reduzindo os custos de produção e evitando o transporte de substratos comerciais de regiões distantes.

2. 3. 2 Fertilizantes na produção de mudas: benefícios e impactos socioambientais

O uso de fertilizantes na produção de mudas é um tema importante e controverso e sofreu profundas mudanças com a Revolução Industrial. A partir deste marco histórico, diversas pesquisas e novas tecnologias surgiram no setor agrícola. Os fertilizantes químicos passaram a ser mais acessível e fazer parte do cotidiano do agricultor. Além disso, foram incentivados o uso de sementes de plantas geneticamente melhoradas, com maior resistência a pragas e doenças, e produtivas.

No entanto, mesmo com esse aumento na produção, a fome continua sendo um problema grave em todo o mundo, especialmente na África, onde cerca de 250 milhões de pessoas encontra-se subnutridas (WISE, 2021). Além disso, o uso excessivo de fertilizantes pode acarretar problemas socioambientais significativos.

A aplicação adequada de fertilizantes pode melhorar as propriedades químicas, o que resulta em mudas de alta qualidade e com um sistema radicular bem desenvolvido. No entanto, o uso excessivo desses produtos pode reduzir a eficácia da aplicação e acarretar perda econômica. Alguns produtos também podem conter substâncias tóxicas, como pesticidas ou metais pesados, como chumbo, cádmio e mercúrio, que não biodegradáveis em sua composição, o que pode prejudicar o meio ambiente (BAHRAMOV et al., 2020).

O excesso de nitrogênio nos fertilizantes pode se infiltrar no solo e rios, lagos e aquíferos subterrâneos. Isso pode causar um fenômeno chamado eutrofização, em que o aumento da quantidade de nutrientes na água provoca um crescimento excessivo de algas e outras plantas aquáticas, consumindo o oxigênio da água e

prejudicando a vida aquática. Quando os fertilizantes nitrogenados são aplicados no solo, uma parte do nitrogênio é convertida em óxido nitroso, um gás de efeito estufa que é muito mais potente do que o dióxido de carbono. A emissão de óxido nitroso pode contribuir para o aquecimento global e as mudanças climáticas (LI et al., 2018).

Para minimizar os impactos negativos causados pelo uso excessivo de fertilizantes, há uma busca por produtos que minimizem a lixiviação e volatilização, como os fertilizantes de liberação controlada, e produtos que sejam renováveis, como os biofertilizantes e os fertilizantes orgânicos (CHEW et al., 2019). Essas alternativas buscam promover uma agricultura mais sustentável.

2. 3. 3 Fertilização convencional versus liberação controlada

A produção de mudas é um processo fundamental para a agricultura e silvicultura. Dentre as técnicas utilizadas para produção de mudas, a fertilização é essencial para promover o crescimento adequado das plantas. Nesse sentido, existem duas técnicas principais de fertilização: a convencional e a de liberação controlada (VEJAN et al., 2021).

A fertilização convencional consiste na adição de fertilizantes solúveis em água diretamente ao solo ou substrato, geralmente em uma ou mais aplicações. Essa técnica tem a vantagem de fornecer nutrientes imediatamente disponíveis para as plantas, o que pode acelerar o crescimento das mudas (ROSEN et al., 2014).

Por outro lado, a fertilização de liberação controlada consiste em incorporar fertilizantes de liberação gradual no substrato ou encapsulados em uma membrana permeável. Essa técnica libera os nutrientes de forma lenta e gradual, conforme a demanda das plantas, o que pode resultar em uma maior eficiência no uso dos nutrientes e em uma redução da lixiviação (CHEN et al., 2020). Além disso, a fertilização de liberação controlada pode melhorar a qualidade das mudas, uma vez que a liberação lenta dos nutrientes favorece o desenvolvimento do sistema radicular e reduz o estresse das plantas (MIKULA et al., 2020).

Apesar das vantagens da fertilização de liberação controlada, o uso deste produto também apresenta algumas limitações. O custo é um dos principais fatores que pode restringir a sua utilização em grande escala, uma vez que os fertilizantes de liberação controlada são geralmente mais caros do que os fertilizantes convencionais. Além disso, é importante considerar que a eficácia da fertilização de liberação controlada pode ser afetada em substratos com baixa capacidade de retenção de

água, o que interfere na disponibilidade de água e nutrientes para as plantas (GUTIÉRREZ et al., 2022).

Em estudo realizado por Muniz et al. (2013), os autores avaliaram a produção de mudas de eucalipto utilizando técnicas de fertilização, incluindo a convencional e a de liberação controlada. Observou que a fertilização de liberação controlada proporcionou um maior crescimento das mudas e uma maior eficiência no uso dos nutrientes, em comparação com a fertilização convencional.

Apesar de ser uma técnica que onera mais a produção, o benefício a longo prazo compensa o custo inicial (GUTIÉRREZ et al., 2022). Porém, é importante considerar as particularidades de cada cultura e substrato, bem como avaliar o custo-benefício antes de optar pela técnica de fertilização mais adequada. A escolha correta pode fazer toda a diferença na qualidade e produtividade das mudas.

2. 3. 4 A influência dos macros e micronutrientes na fisiologia e produção de plantas

Os nutrientes são essenciais para a vida das plantas, e sua ausência pode comprometer seu desenvolvimento. Dentre os nutrientes, os minerais desempenham um papel importante na realização de processos metabólicos. Segundo Amorim et al. (2021), são 14 os elementos essenciais, sem os quais as plantas não completam o seu ciclo ou completam de forma caótica. Os nutrientes essenciais para as plantas, podem ser divididos em macro e micronutrientes. Os macronutrientes são compostos por nitrogênio (N), fósforo (P), enxofre (S), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg).

O nitrogênio é um constituinte fundamental das purinas e pirimidinas, substâncias que compõem ácidos nucleicos como DNA e RNA. O mineral também está presente em grandes quantidades na parte aérea vegetal, na forma de enzimas como a RuBisCO, como proteínas nos fotossistemas e compondo moléculas de clorofila (DOVIS et al., 2021; HUANG et al., 2022) De acordo com Ye et al. (2019), a RuBisCO é uma enzima que catalisa a primeira etapa da fixação do carbono pela fotossíntese e é a proteína mais abundante na terra. Já o fósforo, por sua vez, está presente no vegetal na forma de ortofosfato, metabólito, fosfolipídios e na composição de ácidos nucléicos. Dentre as principais funções do fósforo no vegetal salienta-se a atuação na composição de moléculas transportadoras de energia (ATP e ADP) e na estruturação da membrana celular (MALAVOLTA, 2006).

Outros nutrientes também são importantes para as plantas, como o enxofre, que é um componente de sulfatídeos, cloroplastos, vitaminas, coenzimas e aminoácidos,

tendo atuação crucial na fotossíntese, respiração e na composição da membrana celular (DUARTE et al., 2015). O potássio, por sua vez, atua na manutenção da integridade celular, regulando, por exemplo, a relação ânion-cátion, o pH, a regulação osmótica, além de contribuir para o crescimento do volume celular (AMORIM et al., 2021). Já o cálcio está presente na parte aérea da planta em concentrações que representam de 0,1 a 5% da biomassa seca, atuando como constituinte das paredes da membrana celular e como segundo mensageiro intracelular. Por fim, o magnésio é importante para a fotocaptura e transferência de elétrons para o centro de reação do fotossistema 2, além de formar ligações com cargas negativas na parede celular (MALAVOLTA, 2006).

Os micronutrientes são elementos essenciais para o crescimento e desenvolvimento das plantas. Entre eles, estão o boro, cloro, cobre, ferro, zinco, manganês, molibdênio e níquel. Esses micronutrientes são exigidos em pequenas quantidades pelas plantas e têm papel fundamental em várias reações orgânicas do metabolismo vegetal. (SHIDU et al., 2019)

O boro é um micronutriente que promove estabilidade à matriz celular e forma complexos com componentes das jangadas lipídicas na membrana celular. No entanto, quando presente em excesso, pode causar toxidez e levar a lesões foliares (LANDI et al., 2019). De acordo com Shidu et al. (2019) a absorção excessiva de boro pode afetar negativamente o crescimento radicular e, em níveis ainda mais elevados, pode causar a morte celular. O cloro, por sua vez, regula a célula estomática e aumenta a resistência vegetal a doenças, mas também pode acarretar estresse salino e toxidez à planta em quantidades excessivas (CHEN et al., 2010).

O ferro é importante para o desenvolvimento vegetal, pois atua como um catalisador na síntese molecular de clorofila e propicia a absorção de outros nutrientes. O molibdênio e o níquel também são importantes ativadores enzimáticos com funções específicas na planta (RANA et al., 2020; PRASAD; SHIVAY, 2019).

O zinco, por sua vez, possibilita a permeabilidade da membrana celular e é importante para a expansão da área foliar e defesa vegetal contra pragas e doenças. No entanto é importante ressaltar que o excesso de zinco pode prejudicar a absorção de outros micronutrientes, como o manganês (CABOT et al., 2019). Segundo Hassan et al. (2020), altas concentrações de zinco podem resultar em uma redução significativa da absorção de manganês pelas plantas. Essa interferência na absorção de outros micronutrientes deve ser considerada no manejo nutricional de plantas cultivadas em solos com altas concentrações de zinco.

O manganês é um micronutriente essencial para a fotossíntese, já que atua como ativador de enzimas envolvidas diretamente no processo, como a enzima Rubisco, responsável pela fixação de carbono na planta (SHIDU et al., 2019). Além disso, o manganês é um constituinte da clorofila, o pigmento responsável pela absorção da luz na fotossíntese, e, portanto, é fundamental para a síntese deste composto essencial para o desenvolvimento vegetal (ALEJANDRO et al., 2020). Porém, é importante ressaltar que a absorção de manganês pode ser prejudicada em presença de excesso de zinco no solo.

REFERÊNCIAS

ALEJANDRO, S.; HÖLLER, S.; MEIER, B.; PEITER, E. Manganese in Plants: From Acquisition to Subcellular Allocation. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, p. 1 - 23, 2020.

ALVES, M. de M.; VENTUROSOS, L. dos R.; VENTUROSOS, L. A. C.; CIPRIANI, L. P.; BRAÚNA, H. N.; FRULAN, L. B. Production of seedlings of papaya from different types of substrates and containers. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 3, n. 3, p. 2761–2774, 2020.

AMORM, S. A.; LIMA, A. M. N.; CAVALCANTE, I. H. L.; CUNHA, J. C.; MELO JÚNIOR, J. C. F.; SILVA, K. A.; RODRIGUES, J. C.; DIAS, D. N. Organic substrates and slow-release fertilizing on nutrient accumulation and absorption efficiency of custard apple seedlings. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 16, n. 4, p. 1 - 8, 2021.

ANDRADE, R. A. de; LEMOS, E. G. de M.; MARTINS, A. B. G.; PAULA, R. C. Caracterização morfológica de plantas de rambutan. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 31, n. 4, p. 613 - 619, 2009.

ARAÚJO, C. S.; LUNZ, A. M. P.; SANTOS, V. B. dos; ANDRADE NETO, R. de C.; NOGUEIRA, S. R.; SANTOS, R. S. dos. Uso de resíduos agroindustriais como substrato para a produção de mudas de *Euterpe precatoria*. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 50, p. 1 - 12, 2020.

ARAÚJO, E. F.; AGUIAR, A. S.; ARAUCO, A. M. de S.; GONÇALVES, E. de O.; ALMEIDA, K. N. S. de. Crescimento e qualidade de mudas de paricá produzidas em substratos à base de resíduos orgânicos. **Nativa**, v. 5, n. 1, p. 16 - 23, 2017.

BAHRAMOV, R.; MAMATYUSUPOV, A.; TOKHTABOEVA, F.; KHOMIDOV, YULDASHEV, H. A comprehensive application of fertilizers for growing plantations in forest nurseries: A brief review. **IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science**, v. 614, 012117, 2020.

BHATTACHARJEE, P.; DAS, S.; DAS, S. K.; CHANDER, S. Rambutan (*Nephelium lappaceum* L.): A potential fruit for industrial use, serving nutraceutical and livelihood interests and enhancing climate resilience. **South African Journal of Botany**, v. 150, p. 26-33, 2022.

CABOT, C.; MARTOS, S.; LLUGANY, M.; GALLEGRO, B.; TOLRÀ, R.; POSCHENRIDER, C. A role for zinc in plant defense against pathogens and 2 herbivores. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, p. 1 – 33, 2019.

CHEN, J.; FAN, X.; ZHANG, L.; CHEN, X.; SUN, R. C.; SUN, S. Research progress in lignin-based slow/controlled release fertilizer. **Chemistry–Sustainability–Energy–Materials**, v. 13, n. 17, p. 4356 – 4366, 2020.

CHEW, K. W.; CHIA, S. R.; YEN, H. W.; NOMANBHAY, S.; HO, Y. C.; SHOW, P. L. Transformation of Biomass Waste into Sustainable Organic Fertilizers. **Sustainability**, 11, 2266, p. 1 – 19, 2019.

CHEN, W.; HE, Z. L.; YANG, X. E.; MISHRA, S.; STOFFELLA, P. J. (2010). Chlorine nutrition of higher plants: progress and perspectives. **Journal of Plant Nutrition**, v. 33, n. 7, p. 943 – 952, 2010.

DUARTE, M. L.; PAIVA, H. N.; ALVES, M. O.; FREITAS, A. F.; MAIA, F. F.; GOULART, L. M. L. Crescimento e qualidade de mudas de vinhático (*Platymenia foliolosa* Benth.) em resposta à adubação com o potássio e enxofre. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 1, p. 221 - 229, 2015.

FERMINO, M. H. **Substratos: composição, caracterização e métodos de análise**. Guaíba: Agrolivros, 2014. 112 p.

GOMES, S. H. M.; GONÇALVES, F. B.; FERREIRA, R. A.; PEREIRA, F. R. M.; RIBEIRO, M. M. J. Avaliação dos parâmetros morfológicos da qualidade de mudas de *Paubrasilia echinata* (pau-brasil) em viveiro florestal. **Scientia Plena**, v. 15, p. 11 - 19, 2019.

GUTIÉRREZ, C. A.; LEDEZMA-DELGADILLO, A.; JUÁREZ-LUNA, G.; NERI-TORRES, E. E.; IBANEZ, J. G.; QUEVEDO, I. R. Production, Mechanisms, and Performance of Controlled-Release Fertilizers Encapsulated with Biodegradable-Based Coatings. **ACS Agriculturas Science & Technology**, v. 2, p- 1101 - 1125, 2022.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura (PEVS)**. Rio de Janeiro: IBGE, 2021.

HAN, P.; LI, Y.; LIU, Z.; ZHOU, W.; YANG, F.; WANG, J.; YAN, X.; LIN, J. The physiology of plant seed aging: a review. **Sheng Wu Gong Cheng Xue Bao**, v. 38, n. 1, p. 77-88, 2022.

HASSAN, M. U.; AAMER, M.; CHATTHA, M. U.; HAIYING, T.; SHAHZAD, B.; BARBANTI, L.; NAWAZ, M.; RASHEED, A.; AFZAL, A.; LIU, Y.; GUOQIN, H. The Critical Role of Zinc in Plants Facing the Drought Stress. **Agriculture**, v. 10, n. 9, 396, 2020.

KRZYŻANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B.; MARCOS FILHO, J. **Vigor de sementes: conceitos e testes**. 2 ed. Londrina: ABRATES. 2020. 601 p.

LANDI, M.; MARGARITOPOULOU, T.; PAPADAKIS, I. E.; ARANITI, F. Boron toxicity in higher plants: An update. **Planta**, v. 250, p. 1011 - 1032, 2019.

LI, W.; GUO, S.; LIU, H.; ZHAI, L.; WANG, H.; LEI, Q. Comprehensive environmental impacts of fertilizer application vary among different crops: Implications for the adjustment of agricultural structure aimed to reduce fertilizer use. **Agricultural Water Management**, v. 210, p. 1 – 10, 2018.

Li, W.; Zeng, J.; Shao, Y. Rambutã – *Nephelium lappaceum*. **Exotic Fruits**, p. 369 - 375, 2018.

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

MANCA, A.; SILVA, M. R. da; GUERRINI, I. A.; FERNANDES, D. M.; BÔAS, R. L. V.; SILVA, L. C. da; FONSECA, A. C. da; GUGGIU, M. C.; CRUZ, C. V.; SIVISACA, D. C. L.; MATEUS, C. de M. D.; MURGIA, I.; GRILLI, E.; GANGA, A.; CAPRA, G. F. Composted sewage sludge with sugarcane bagasse as commercial substrate for *Eucalyptus urograndis* seedling production. **Journal of Cleaner Production**, v. 269, p. 1 - 10, 2020.

MAHMOOD, K. FAZILAH, A.; YANG, T. A.; SULAIMAN, S.; KAMILAH, H. Valorization of rambutan (*Nephelium lappaceum* L.) by-products: Food and non-food perspectives. **International Food Research Journal**, v. 25, n. 3, p. 892–902, 2018.

MIKULA, K.; IZYDORCZYK, G.; SKRZYPCZAK, D.; MIRONIUK, M.; MOUSTAKAS, K.; WITEK-KROWIAK, A.; CHOJNACKA, K. Controlled release micronutrient fertilizers for precision agriculture – A review. **Science of the Total Environment**, v. 712, 136365, p. 1 – 9, 2020.

MUNIZ, C.O.; LÔBO, L.M.; FERNANDES, F.P.R.; FERREIRA, E.M.; BRASIL, E.P.F. Efeito de diferentes adubos NPK no processo de produção de mudas de eucalipto. **Enciclopédia Biosfera**, v.9, n.17, p. 1162- 1169, 2013.

PERUMAL, A.; ALSALHI, M. S.; KANAKARAJAN, S.; DEVANESAN, S.; SELVARAJ, R.; TAMIZHAZHAGAN, V. Phytochemical evaluation and anticancer activity of rambutan (*Nephelium lappaceum*) fruit endocarp extracts against human hepatocellular carcinoma (HepG-2) cells. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 28, n. 3, p. 1816–1825, 2021.

PRASAD, R.; SHIVAY, Y. S. Nickel in Environment and Plant Nutrition: A Mini Review. **International Journal of Plant and Environment**, v. 5, n. 4, p. 239 – 242, 2019.

RANA, M. S.; BHANTANA, P.; SUN, X. C.; IMRAN, M.; SHAABAN, M.; MOUSSA, M. G.; SALEEM, M. H.; ELYAMINE, A. M.; BINYAMIN, R.; ALAM, M.; AFZAL, J.; KHAN, I.; DIN, I. U.; AHMAD, I.; YOUNAS, M.; KAMRAN, M.; HU, C. X. Molybdenum as an Essential Element for Crops: An Overview. **Biomedical: Journal of Scientific & Technical Research**, v. 4, n. 5, p. 18535 – 18547, 2020.

RASHIED, T.; ABOAGYE, L. M.; OSAFO, E. A.; DARKO, R.; DASSAH, A.; OPAREH, J. O. Effect of tree age on fruit characteristics, seed emergence and seedling growth in Rambutan (*Nephelium lappaceum* L.). **Journal of Horticultural Sciences**, v. 17, n. 1, p. 245-250, 2022.

- RIBEIRO, Í. F. N.; CARVALHO, C. A. de .; ANDRADE, R. A. .; SOUZA, F. C. de .; BRITO, R. S. de .; TEIXEIRA JUNIOR, D. L.; NASCIMENTO, M. M. do . Morfometria de mudas de itaúba (*Mezilaurus itauba* (Meisn.) Taub. ex Mez) produzidas a partir de substratos alternativos. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 11, p. 1 - 8, 2021.
- ROSEN, C. J.; KELLING, K. A.; STARK, J. C.; PORTER, G. A. Optimizing Phosphorus Fertilizer Management in Potato Production. **American Journal of Potato Research**, v. 91, p. 145 - 160, 2014.
- SACRAMENTO, C. K.; GATTWARD, J. N.; BARRETO, W. de S.; RIBEIRO, S. J. O.; AHNERT, D. Avaliação da diversidade fenotípica em rambuteiras (*Nephelium lappaceum*) com base na qualidade dos frutos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 35, n. 1, p. 32 - 38, 2013.
- SENA, D. V. dos A.; ALVES, E. U.; ARAÚJO, L. R.; SILVA, R. dos S.; ANJOS NETO, A. P. dos; RODRIGUES, C. M. Ponto de maturidade fisiológica de sementes de *Sideroxylon obtusifolium* [(Roem. & Schult.) T. D. Penn.]. **Ciência Florestal**, v. 32, n. 3, p. 1106 - 1124, 2022.
- SHIDU, M. K.; RATURU, H. C.; KACHWAYA, D. S.; SHARMA, A. Role of micronutrients in vegetable production: A review. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, SP 1, p. 331 - 340, 2019.
- SILVA, N. da; SILVA, M. A. D. da; MOURA, D. P. de; RODRIGUES, M. B. S.; ALVES, R. M.; SILVA, E. F. da. Germinação e vigor de sementes de *Mimosa tenuiflora* após o armazenamento. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 15, n. 4, p. 1 - 13, 2022.
- SOARES, I. D.; PAIVA, A. V. de; MIRANDA, R. O. V. de; MARANHO, Á. S. Propriedades físico-químicas de resíduos agroflorestais amazônicos para uso como substrato. **Nativa**, v. 2, n. 3, p. 155 - 161, 2014.
- SOLEYMANI, A.; Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) seed vigor tests for the prediction of field emergence. **Industrial Crops and Products**, v. 131, p. 378 - 386, 2019.
- SOUZA C. D. R. SILVA, C. K. Potencial energético dos resíduos da castanha do Brasil (*Bertholletia excelsa* H.B.K.) para produção de carvão ativado. **Research, Society and Development**. Vagem Grande Paulista, v. 10, n. 2, 12p. 2021.
- SOUZA, A. G.; SMIDERLE, O. J.; MENEGATTI, R. D.; LIMA, M. A. C. de; NEVES, T. R. das; BIANCHI, V. J. Patents for the Physiological Quality in Seeds of Peach Rootstock Classified by Weight and Stored for Different Period. **Recente Patents on Food, Nutrition & Agriculture**, v. 10, p. 124 - 130, 2019.
- TORGBO, S.; RUGTHAWORN, P.; SUKATTA, U.; SUKYAI, P. Biological characterization and quantification of rambutan (*Nephelium lappaceum* L.) peel extract as a potential source of valuable minerals and ellagitannins for industrial applications. **ACS Omega**, v. 7, p. 34647 - 34656, 2022.

TRIPATHI, P. C.; KARUNAKARAN, G.; SAKTHIVEL, T.; SANKAR, V.; SENTHIL KUMAR, R. Status and prospects of rambutan cultivation in India. **Acta Horticulturae**, v. 1293, p. 33 - 40, 2020.

TSONG, J. L.; GOH, L.; P.; W.; GANSAU, J. A.; HOW, S. E. Review of *Nephelium lappaceum*: A High Potential Supplement. **Molecules**, v. 26, n. 7005, p. 1 - 16, 2021.

VASCONCELOS, A. D. M.; SCARDUA, F. P.; MARTINS, R. de C. C.; SOUZA, A. M. de; AMORIM, F. S. Viabilidade germinativa e condutividade elétrica em sementes de *Amburana cearensis* (Allemão) A. C Smith (Fabaceae). **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 7, n. 2, p. 98 - 104, 2019.

VEJAN, P.; KHADIRAN, T.; ABDULLAH, R.; AHMAD, N. Controlled release fertilizer: A review on developments, applications and potential in agriculture. **Journal of Controlled Release**, 339, p. 321 - 334, 2021.

WINDARSIH, G. Characterization of leaf morphology on several rambutan (*Nephelium lappaceum*) cultivars from Serang City, Banten, Indonesia. **Pros Sem Nas Masy Biodiv Indon**, v. 8, n. 1, p. 18 - 23, 2022.

WISE, T. A. **Old Fertilizer in New Bottles: Selling the Past as Innovation in Africa's Green Revolution**. Global Development and Environment Institute, Tufts University: Medford. 2021. 34 f.

3 CAPÍTULO I: Qualidade fisiológica de sementes de rambuteira (*Nephelium lappaceum* L.) submetidas à condutividade elétrica

RESUMO

A rambuteira é uma árvore frutífera tropical cultivada na Ásia, América Central e América do Sul, cujo fruto é rico em vitamina C. A produção no Brasil tem aumentado devido à demanda e condições climáticas ideais, mas a baixa disponibilidade de mudas e falta de informações técnicas sobre estratégias de avaliação da qualidade das sementes é um desafio para expansão do seu cultivo. O teste de condutividade elétrica é eficaz e rápido para avaliar a qualidade de sementes e tomar decisões rápidas sobre gerenciamento de sementes. O objetivo da pesquisa foi avaliar a qualidade fisiológica de sementes de rambuteira, por meio do método de condutividade elétrica. A pesquisa foi realizada no Laboratório de Análise de Sementes Florestais da Fundação de Tecnologia do Acre, utilizando lotes de sementes coletadas em quatro microrregiões. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado e as sementes foram submetidas aos procedimentos de teor de água, porcentagem de germinação (PG), índice de velocidade de emergência (IVG), tempo médio de germinação (TMG) e teste de condutividade elétrica (CE). Os resultados demonstram que houve diferenças significativas entre os lotes testados para as variáveis de PG, IVG, TMG e CE. O Lote 2 apresentou a menor qualidade fisiológica, enquanto o Lote 4 foi o que apresentou a melhor qualidade. Além disso, o lote 4 foi o que apresentou menor CE. O teste de condutividade elétrica revelou-se uma técnica rápida e eficaz para avaliar o vigor das sementes de rambuteira.

Palavras-chave: análise de sementes; rambutan; tecnologia de sementes; vigor.

ABSTRACT

Rambutan is a tropical tree cultivated in Asia, Central America, and South America, and its fruit is rich in vitamin C. Production in Brazil has increased due to demand and ideal climatic conditions, but the low quality of seeds is a challenge in producing high-quality seedlings. The electrical conductivity test is effective and rapid for evaluating seed quality and making quick decisions on seed management. The objective of this research was to evaluate the physiological quality of rambutan seeds through the electrical conductivity method. The study was conducted at the Forest Seed Analysis Laboratory of the Acre Technology Foundation, using seeds collected from four micro-regions. The seeds were subjected to procedures for moisture content, germination percentage (GP), emergence speed index (ESI), mean germination time (MGT), and electrical conductivity (EC) test. The results demonstrate that there were significant differences between the tested lots for the variables of GP, ESI, MGT, and EC. Lot 2 had the lowest physiological quality, while lot 4 had the best quality. In addition, lot 4 had the lowest EC. The electrical conductivity test proved to be a rapid and effective technique for evaluating the vigor of rambutan seeds.

Keywords: seed analysis; rambutan; seed technology; vigor.

3. 1 INTRODUÇÃO

A rambuteira (*Nephelium lappaceum* L.) é uma árvore frutífera tropical originária da Indonésia e Malásia, também cultivada em outras partes da Ásia, América Central e América do Sul (WINDARSIH, 2022). O fruto é caracterizado por uma casca avermelhada coberta por estruturas flexíveis em forma de espinhos. A polpa é uma combinação equilibrada de acidez e doçura, o que o torna altamente apreciado. Além disso, fibras, minerais e antioxidantes (BHATTACHARJEE et al., 2022).

A produção de rambutan no Brasil é considerada pequena quando comparada com outros países produtores, como a Indonésia, Tailândia, Malásia e Filipinas. Em 2019, estima-se que o Brasil tenha produzido cerca de 4,5 mil toneladas de rambutan. Por outro lado, a Indonésia, líder mundial na produção de rambutan, produziu 874,5 mil toneladas em 2021, representando 55% da produção global (TRIPATHI et al., 2020; STATISTA, 2023).

O cultivo de rambuteira no país tem aumentado nos últimos anos devido ao aumento da demanda. Além disso, o clima quente e úmido do Brasil favorece o desenvolvimento da espécie (ANDRADE et al., 2017). É importante mencionar que a produção de rambutan no Brasil ainda enfrenta diversos desafios, como a escassez de informações sobre o manejo e técnicas eficientes de propagação vegetativa e métodos em diagnosticar a qualidade fisiológica de sementes.

A baixa qualidade das sementes é um fator que contribui para a formação inadequada de mudas frutíferas, afetando o estabelecimento e a uniformidade dos povoamentos (LIU et al., 2021). Embora o teste de germinação em laboratório seja importante para avaliar o potencial fisiológico, pode ser limitado devido ao seu caráter demorado, dependendo da espécie. Por exemplo, para a rambuteira, as contagens finais de germinação são feitas aos 21 dias (RASHIED et al., 2022). Os métodos que predizem a germinabilidade em menor tempo são potencialmente vantajosos para as empresas de sementes, pois lhes permitem tomar decisões rápidas sobre gerenciamento de sementes e lidar com grandes volumes de lotes de sementes que precisam ser testados (HAN et al., 2022).

A condutividade elétrica (CE) é um teste que permite a detecção rápida de deterioração de sementes. Baseia-se no processo de dano de membranas e liberação de lixiviados que ocorre quando as sementes são embebidas em água, devido à perda da integridade celular (SOLEYMANI, 2019). Este método tem sido amplamente utilizado para avaliar a qualidade fisiológica de sementes de diversas espécies, tais

como cerejeira (VASCONCELOS et al., 2019), jurema (SILVA et al., 2022) e quixabeira (SENA et al., 2022).

O teste de CE é realizado medindo a condutividade elétrica da solução em que as sementes foram imersas. Altos valores de CE estão associados a sementes de baixa qualidade fisiológica, em virtude à degradação e desordem das membranas celulares, um processo lento e irreversível (SOLEYMANI, 2019). Em estudo recente realizado com sementes de pêssigo (SOUZA et al., 2019) observaram que, as sementes com baixo vigor estavam associadas ao aumento da concentração de lixiviados, como açúcares, aminoácidos e eletrólitos na solução. Com isso, foi possível selecionar as sementes com maior qualidade fisiológica no período de 24 horas.

A condutividade elétrica tem se mostrado um método eficaz e rápido para avaliar a qualidade de sementes, especialmente quando comparado com outros métodos, como o teste de germinação, que é mais demorado. Assim, o objetivo da presente pesquisa foi avaliar a qualidade fisiológica de sementes de rambuteira, por meio do método de condutividade elétrica.

3. 2 METODOLOGIA

Esta pesquisa foi realizada durante os meses de fevereiro e março de 2019 no Laboratório de Análise de Sementes Florestais da Fundação de Tecnologia do Acre (FUNTAC) em Rio Branco, AC. O clima, conforme a classificação de Alvarez et al. (2013), é do tipo Am, tropical de monção, com temperatura média anual em torno de 26 °C e precipitação variando entre 2.200 a 2.500 mm. Foram utilizadas sementes coletadas em 2019 em quatro microrregiões dos Estados de Rondônia e Acre sendo o Lote 1: Ji-Paraná, RO, (JPR) 10°47'33,7"S; 61°44'39,4"O; Lote 2: Rio Branco, AC, (RBR) 10°00'34,5"S; 67°39'24,4"O; Lote 3: Porto Velho, RO, distrito de Nova Califórnia (NCL) 9°45'38,6"S; 66°36'21,6"O; Lote 4: Porto Velho (RO) distrito de Nova Califórnia (NCF) 9°41'48,8"S; 66°36'53,9"O. Após a coleta, as sementes foram homogeneizadas para obtenção da fração sementes puras, e submetidas aos procedimentos descritos a seguir:

Teor de água: determinado pelo método padrão (105 °C / 24 h), de acordo com as Regra de Análise de Sementes (BRASIL, 2009), utilizando duas repetições de 10 sementes cada;

Teste de germinação: as sementes foram previamente desinfetadas com hipoclorito de sódio (2,0%) por cinco minutos e em seguida lavadas em água corrente.

O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado com quatro repetições de 25 sementes as quais foram dispostas em rolos de papel Germitest umedecidos com quantidade de água equivalente a 2,5 vezes a massa do papel seco. As sementes foram distribuídas inicialmente sobre duas folhas e, em seguida, cobertas pela terceira folha e, então, foram confeccionados em rolos e acondicionados em germinador a 25 °C constante (ANDRADE et al., 2017). As contagens foram realizadas do 1° ao 30° dias após a semeadura com os resultados expressos em porcentagem de germinação (BRASIL, 2009).

Índice de velocidade de emergência: foi realizado juntamente com o teste de germinação e com contagens diárias do número de sementes germinadas até os 40 dias após a instalação do teste. O cálculo do IVE foi realizado conforme fórmula proposta por Maguire (1962).

Tempo médio de germinação: determinado por contagem do número de sementes germinadas do 1° ao 30° dia de acordo com a fórmula descrita por Labouriau (1983). Os resultados foram apresentados em dias após a semeadura. Frequência relativa (FR) de germinação foi contabilizado o número de sementes que germinaram por dia, até a última avaliação (LABOURIAU, 1983).

Teste de condutividade elétrica: foi conduzido segundo metodologia proposta pela AOSA (1983), com quatro subamostras de 25 sementes, que foram pesadas com precisão de duas casas decimais e, a seguir, colocadas em recipiente contendo 200 mL de água deionizada, permanecendo em incubadora tipo BOD a 25 °C por 24 horas. Após o período, realizou-se a leitura da CE na solução de embebição, em condutivímetro. O resultado da leitura foi dividido pelo peso (g) da respectiva amostra, sendo os resultados expressos em $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$ das amostras de sementes.

Os dados foram submetidos aos pressupostos de análises da variância, com verificação de dados discrepantes, normalidade dos erros e homogeneidade das variâncias. Em seguida foi realizado o Teste F, e quando significativo, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando o pacote estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011). Calculou a correlação simples de Pearson (r) entre variáveis.

3. 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A germinação das sementes, o índice de velocidade de germinação, o tempo médio para germinação e condutividade elétrica foram significativamente ($p < 0,05$) afetadas em função dos lotes das sementes (Tabela 1).

Tabela 1 - Resumo da análise de variância (ANOVA) para germinação (G), índice de velocidade de germinação (IVG), tempo médio de germinação (TMG) e condutividade elétrica (CE).

Fonte de variação	Quadrado Médio				
	GL	G	IVG	TMG	CE
Lotes	3	146,7291*	4,8455*	23,1570*	4,6612*
Erro	12	0,6042	0,0062	0,0530	0,0305
CV (%)		4,49	4,26	2,18	6,15

* significativo a 5%.

Os dados do teor de água (TA) das sementes foram semelhantes para os quatro lotes (Tabela 2), com variação de até 1%, inferior à amplitude máxima aceita que é de 1 a 2 pontos percentuais (KRZYZANOWSKI et al., 2020). Esse fato é importante na execução do teste de condutividade elétrica, considerando-se que a uniformização do teor de água das sementes é imprescindível para a padronização das avaliações e obtenção de resultados consistentes (MUNARETO et al., 2021).

Tabela 2 - Teor de água (TA), germinação (G), índice de velocidade de germinação (IVG) e tempo médio de germinação (TMG) para a caracterização inicial da qualidade fisiológica de lotes de sementes de rambuteira.

Lotes	TA (%)	PG (%)	IVG	TMG (dias)
L1 – JPR, RO	42,37	79,00 b	2,01 b	10,00 b
L2 – RBR, AC	42,68	43,00 d	0,84 d	13,00 d
L3 – NCL, RO	42,92	57,00 c	1,22 c	12,00 c
L4 – NCF, RO	42,51	98,00 a	3,33 a	7,00 a

Médias seguidas de letras iguais na coluna entre os substratos, não diferem entre si ($p > 0,05$) pelo teste de Tukey.

Observa-se que, as sementes do lote 4 foram as que apresentaram melhor qualidade fisiológica. No teste de germinação, observou qualidade fisiológica distinta entre os lotes testados, observa-se que as sementes do Lote 4 (NCF) foram as que apresentaram melhor qualidade fisiológica, a menor qualidade foi observada para o Lote 2 (RBR).

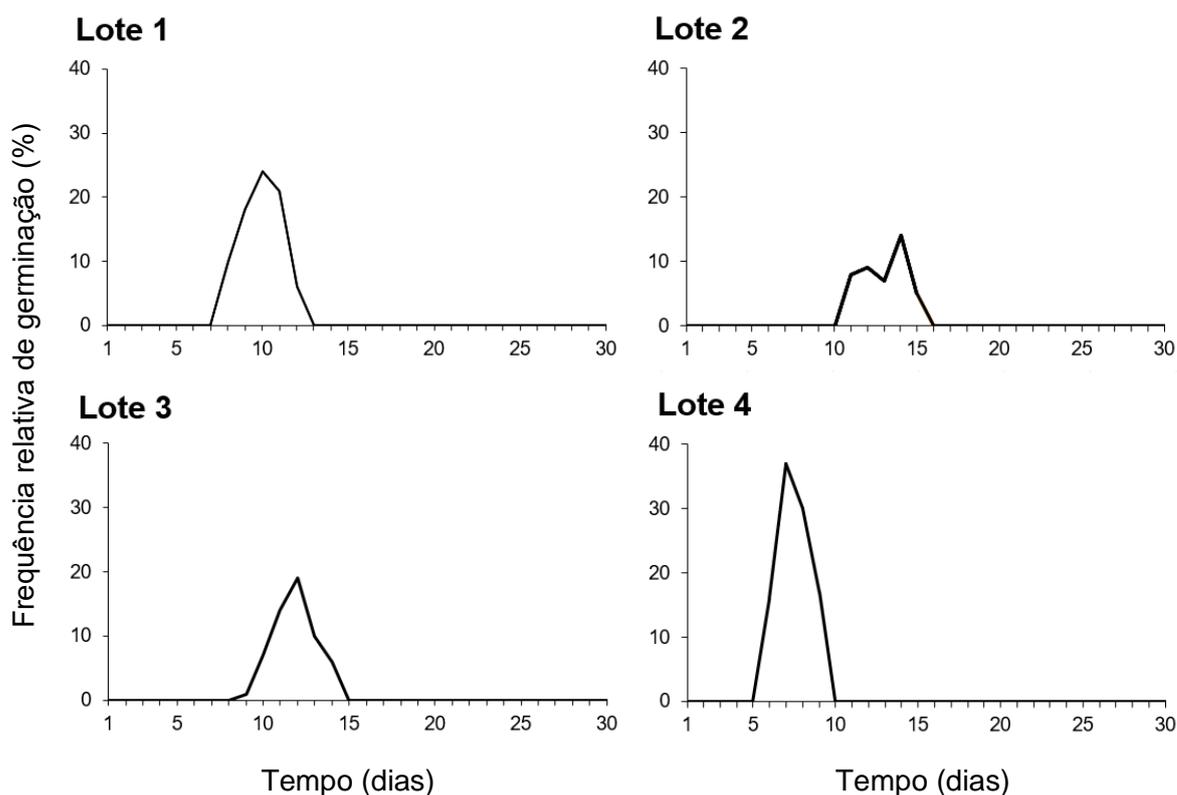
É importante notar que, apesar de resultados elevados na germinação, isso não implica, obrigatoriamente, que os lotes possuem alto vigor de sementes. Isso se deve ao fato de que o teste é conduzido em condições favoráveis, o que permite que o lote

expresse seu potencial máximo (KRZYZANOWSKI et al., 2020). No entanto, sementes com alto vigor tendem a germinar mais rapidamente e produzir plântulas mais robustas, enquanto sementes com baixo vigor podem ter dificuldades para germinar (SANO et al., 2016). Por essa razão, é fundamental realizar testes para determinar as variações de vigor entre os lotes de sementes.

Outros parâmetros importantes na avaliação da qualidade fisiológica de sementes são determinados por meio do índice de velocidade de germinação (IVG) e do tempo médio de germinação (TMG). Sementes com maior vigor tendem a estabelecer mudas de forma rápida e uniforme, mesmo em condições adversas. Estudo realizado por Sasaya et al. (2020), ao avaliar lotes de ipê (*Handroanthus chrysotrichus* (Mart. Ex DC.) Mattos) utilizando o índice de velocidade, constataram que sementes de baixo vigor comprometeram a porcentagem de germinação e a uniformidade.

De acordo com a análise dos resultados para frequência relativa, o lote 2 apresentou menor vigor, o que se caracterizou por um atraso no início da germinação e maior período ao longo do tempo em comparação com o lote 4 (Figura 1).

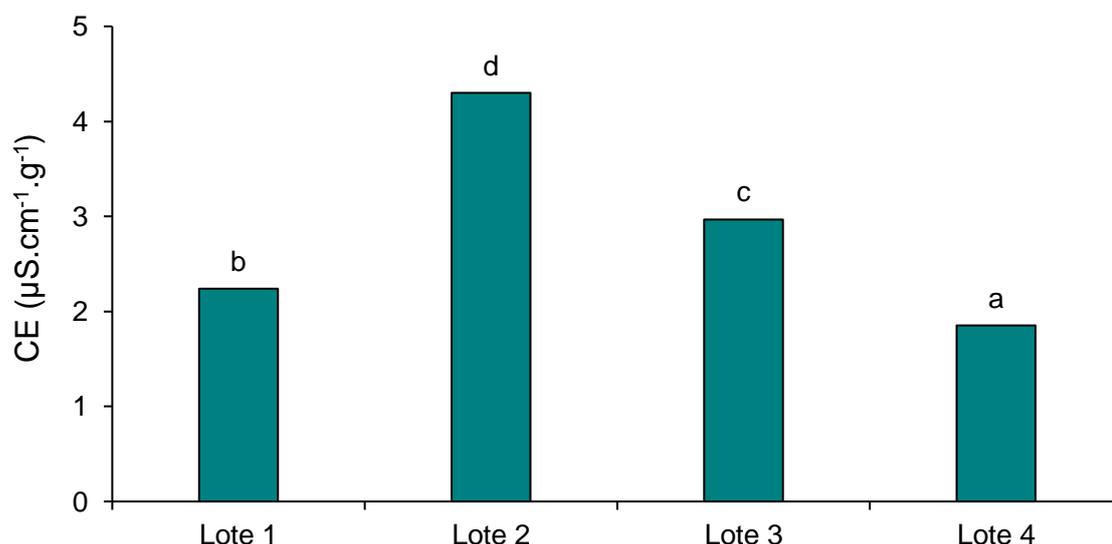
Figura 1 - Distribuição da frequência relativa (FR) da germinação de sementes de rambuteira ao longo do tempo em função da origem das sementes.



A pesquisa de Padilha et al. (2018) destacou um atraso no processo germinativo, evidenciado pelo deslocamento da linha poligonal para a direita, indicando menor vigor das sementes. Esse atraso, desde o início da absorção de água até a protrusão da radícula, devido à expansão celular, não apenas afeta o momento de início da germinação, mas também prejudica os estágios de desenvolvimento da planta (PIÑA-RODRIGUES et al., 2015). Por outro lado, a frequência relativa observada no Lote 4 ocorreu de forma regular e rápida, reforçando os valores observados nas variáveis de velocidade e tempo médio de germinação.

O lote 4 (NCF) apresentou menor CE, seguido dos lotes 1 (JPR), 3 (NCD) e 2 (RBR) (Figura 2 2). As sementes que possuem sistemas celulares intactos resultam em menores valores de condutividade. Quando a integridade da membrana é comprometida, o resultado é a observação de valores mais altos de CE no teste. A redução da integridade da membrana causa danos às sementes, levando a uma diminuição na capacidade de germinação, qualidade, viabilidade e vigor.

Figura 2 - Resultados do teste de condutividade elétrica (CE) de quatro lotes de sementes de rambuteira.



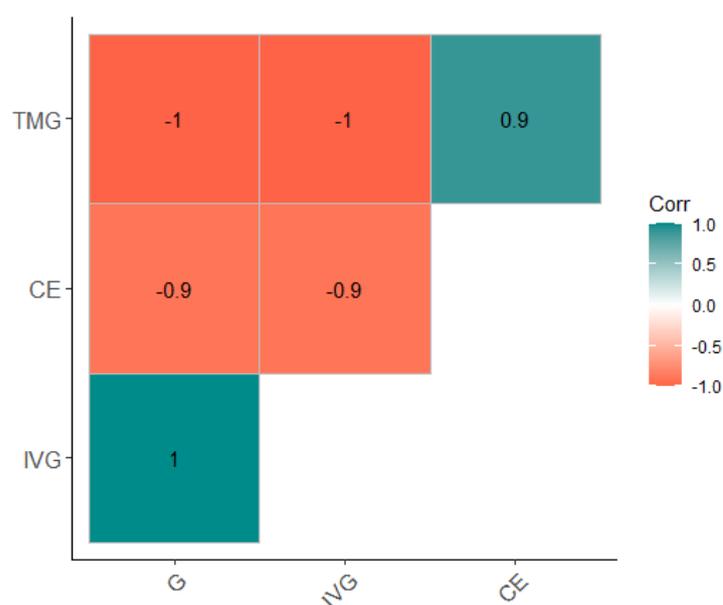
Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si ($p > 0,05$) pelo teste de Tukey.

De acordo com Powell (2022), o aumento da deterioração das sementes está associado ao aumento da permeabilidade da membrana e a lixiviação de solutos, levando conseqüentemente à degradação da membrana e redução da viabilidade das sementes. As substâncias liberadas das sementes consistem em íons inorgânicos, proteínas, aminoácidos, açúcares e ácidos orgânicos. Com base nesse fenômeno fisiológico, a desorganização das membranas e a perda do controle de sua

permeabilidade têm sido consideradas as primeiras mudanças em uma sequência de eventos que levam à deterioração das sementes (KRZYZANOWSKI et al., 2020).

Além disso, houve correlação negativa entre a germinação e a condutividade elétrica de sementes, assim com o aumento da condutividade, a porcentagem de germinação de sementes diminuiu (Figura 3). Portanto, o resultado indica que uma semente mais vigorosa resultaria em menor quantidade de lixiviado e conseqüentemente, a germinação será maior do que as sementes com alto valor de CE (KRZYZANOWSKI et al., 2020). Ademais, há forte correlação negativa entre o índice de velocidade e o tempo médio de germinação.

Figura 3 - Correlação simples de Pearson entre a germinação (G), índice de velocidade de emergência (IVE), tempo médio de germinação (TMG) e condutividade elétrica (CE) na avaliação da qualidade de quatro lotes de sementes de rambuteira.



De acordo com Guollo et al. (2017), o teste de condutividade foi comprovado como uma técnica eficiente para avaliar a qualidade fisiológica de sementes de diversas espécies florestais, tais como *Aspidosperma parvifolium* (guatambu), *Aspidosperma polyneuron* (peroba-rosa), *Cabralea canjerana* (canjerana), *Cariniana legalis* (jequitibá), *Gallesia integrifolia* (pau-d'alho), *Handroanthus chrysotrichus* (ipê-amarelo), *Lonchocarpus campestris* (rabo-de-bugio) e *Pterogyne nitens* (amendoim-do-campo).

Os dados da avaliação da qualidade fisiológica revelaram que as sementes do Lote 4 (NCA) obtiveram melhor desempenho, enquanto o lote 2 (RBR) apresentou o pior resultado. A condutividade elétrica demonstrou que o lote 4 também teve uma CE

menor, o que indica que as sementes possuem membranas celulares mais intactas. Devido à praticidade, economia, precisão e rapidez, o teste de condutividade elétrica é recomendado como procedimento padrão em laboratório para avaliação de sementes de rambuteira.

3. 4 CONCLUSÕES

O teste de condutividade elétrica revela-se uma técnica eficiente e rápida para classificar lotes de sementes de rambuteira, permitindo o ranqueamento com base no vigor.

REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ANDRADE, R. A. de; BARRETO, L. F.; NACATA, G.; SAUCO, V. G. Advances in the propagation of rambutan tree. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 39, n. 5, p. 1-16, 2017.

ANDRADE, R. A. de; BAGATIM, A. G.; NACATA, G. Rambutan seed germination: temperature and storage. **Comunicata Scientiae**, v. 8, n. 2, p. 383-388, 2017.

ASSOCIATION OF OFFICIAL SEED ANALYSTS – AOSA. **Seed vigor testing handbook**. AOSA, 1983. 93p. (Contribution, 32)

BHATTACHARJEE, P.; DAS, S.; DAS, S. K.; CHANDER, S. Rambutan (*Nephelium lappaceum* L.): A potential fruit for industrial use, serving nutraceutical and livelihood interests and enhancing climate resilience. **South African Journal of Botany**, v. 150, p. 26-33, 2022.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília, DF: Mapa/ACS, 2009. 395p.

DUTRA, L. A. de S. C.; PEREIRA, J. C. da S.; MENDONÇA, S. R. Viabilidade das sementes de seringueira em função do tempo de armazenamento. **Ipê Agronomic Journal**, v. 3, n. 1, p. 97-107, 2019.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

GUOLLO, K.; POSSENTI, J. C.; FELIPPI, M.; QUIQUI, E. M. D.; LOIOLA, T. M. Avaliação da qualidade fisiológica de sementes florestais através do teste de condutividade elétrica. **Colloquium Agrariae**, v. 13, n. 1, p. 86-92, 2017.

HAN, P.; LI, Y.; LIU, Z.; ZHOU, W.; YANG, F.; WANG, J.; YAN, X.; LIN, J. The physiology of plant seed aging: a review. **Sheng Wu Gong Cheng Xue Bao**, v. 38, n. 1, p. 77-88, 2022.

KRZYŻANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B.; MARCOS FILHO, J. **Vigor de sementes: conceitos e testes**. 2 ed. Londrina: ABRATES. 2020. 601 p.

LABOURIAU, L. G. **A germinação das sementes**. Washington: Secretaria Geral da OEA, 1983. 174p.

LIU, B.; XUE, W. W.; GUO, Z. L.; LIU, S. Y.; ZHU, Q. N.; PANG, X. Q.; ZHANG, Z. Q.; FANG, F. Water loss and pericarp browning of litchi (*Litchi chinensis*) and longan (*Dimocarpus longan*) fruit maintain seed vigor. **Scientia Horticulturae**, v. 290, p. 1-7, 2021.

MAGUIRE, J. D. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, Madison, v. 2, n. 1, p. 176-177, 1962.

MATTHEWS, S.; NOLI, E.; KHAJEH-HOSSEINI, M.; WAGNER, M. H. Evaluation of seed quality: from physiology to international standardization. **Seed Science Research**, v. 22, p. 69-73, 2012.

MUNARETO, J. D.; MEDEIROS, S. L. P.; NUNES, U. R.; VASCONCELOS, E. S. de.; MENEGAES, J. F. Teste de condutividade elétrica para avaliação do vigor em sementes de quinoa. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 5, p. 1-9, 2021.

PADILHA, M. S.; SOBRAL, L. S.; BARETTA, C. R. M.; ABREU, L. de. Substratos e teor de umidade para o teste de germinação de sementes de *Apuleia leiocarpa* (Vog.) Macbr. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 13, n. 4, p. 437-444, 2018.

POWELL, A. A. Seed Vigour in the 21st century. **Seed Science and Technology**, v. 50, n. 1, p. 45-73, 2022.

RASHIED, T.; ABOAGYE, L. M.; OSAFO, E. A.; DARKO, R.; DASSAH, A.; OPAREH, J. O. Effect of tree age on fruit characteristics, seed emergence and seedling growth in Rambutan (*Nephelium lappaceum* L.). **Journal of Horticultural Sciences**, v. 17, n. 1, p. 245-250, 2022.

SANO, N.; RAJJOU, L.; NORTH, H. M.; DEBEAUHON, I.; MARION-POLL, A.; SEO, M. Staying Alive: Molecular Aspects of Seed Longevity. **Plant Cell Physiology**, v. 57, n. 4, p. 660-674, 2016.

SASAYA, M. K.; MELO, R. S.; OLIVEIRA, J. M. S.; GARLET, J. Análise da qualidade de lotes de sementes de *Handroanthus chrysotrichus* (Mart. Ex DC.) Mattos por meio de testes de condutividade elétrica. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v. 11, n. 6, p. 103-111, 2020.

SENA, D. V. dos A.; ALVES, E. U.; ARAÚJO, L. R.; SILVA, R. dos S.; ANJOS NETO, A. P. dos; RODRIGUES, C. M. Ponto de maturidade fisiológica de sementes de

Sideroxylon obtusifolium [(Roem, & Schult.) T. D. Penn.]. **Ciência Florestal**, v. 32, n. 3, p. 1106-1124, 2022.

SILVA, N. da; SILVA, M. A. D. da; MOURA, D. P. de; RODRIGUES, M. B. S.; ALVES, R. M.; SILVA, E. F. da. Germinação e vigor de sementes de *Mimosa tenuiflora* após o armazenamento. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 15, n. 4, p. 1-13, 2022.

SOLEYMANI, A.; Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) seed vigor tests for the prediction of field emergence. **Industrial Crops and Products**, v. 131, p. 378-386, 2019.

SOUZA, A. G.; SMIDERLE, O. J.; MENEGATTI, R. D.; LIMA, M. A. C. de; NEVES, T. R. das; BIANCHI, V. J. Patents for the Physiological Quality in Seeds of Peach Rootstock Classified by Weight and Stored for Different Period. **Recente Patents on Food, Nutrition & Agriculture**, v. 10, p. 124-130, 2019.

TRIPATHI, P. C.; KARUNAKARAN, G.; SAKTHIVEL, T.; SANKAR, V.; SENTHIL KUMAR, R. Status and prospects of rambutan cultivation in India. **Acta Horticulturae**, v. 1293, p. 33-40, 2020.

VASCONCELOS, A. D. M.; SCARDUA, F. P.; MARTINS, R. de C. C.; SOUZA, A. M. de; AMORIM, F. S. Viabilidade germinativa e condutividade elétrica em sementes de *Amburana cearensis* (Allemão) A. C Smith (Fabaceae). **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 7, n. 2, p. 98-104, 2019.

WINDARSIH, G. Characterization of leaf morphology on several rambutan (*Nephelium lappaceum*) cultivars from Serang City, Banten, Indonesia. **Pros Sem Nas Masy Biodiv Indon**, v. 8, n. 1, p. 18-23, 2022.

4 CAPÍTULO II: Substratos alternativos e fertilizante de liberação controlada na produção de mudas de rambuteira

RESUMO

A rambuteira é altamente produtiva e o fruto é rico em antioxidantes. Para o sucesso na implantação de pomares, é fundamental ter mudas de qualidade e o substrato é fator importante que influencia no crescimento das plantas em viveiro. Por isso, o objetivo foi avaliar doses de fertilizante de liberação controlada em substratos alternativos na formação e qualidade de mudas de rambuteira. O experimento foi realizado no viveiro florestal da Fundação de Tecnologia do Acre, no período de abril a setembro de 2022. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 4 x 5 (substratos e doses de fertilizante), totalizando 20 tratamentos, sendo 30 plantas para cada. Houve efeito significativo dos substratos para as variáveis: altura da planta, diâmetro do coleto, relação altura/diâmetro, massas secas aérea, das raízes e total, índice de qualidade de Dickson e clorofila total. Observou-se que a altura e o diâmetro das mudas foram fatores significativos para o crescimento das plantas. A distribuição da massa seca das mudas foi influenciada pelos substratos, com as mudas produzidas em substrato produzido com composto orgânico à base de plantas espontâneas apresentando o maior índice de qualidade de Dickson. A utilização de substrato composto orgânico resultou em mudas de qualidade superior, sendo que a dose média de fertilizante recomendada foi de 6,3 kg m⁻³. A inclusão de resíduos agroflorestais na composição do substrato apresentou benefícios significativos. Conclui-se, que o uso de substratos alternativos e fertilizantes de liberação controlada é recomendado na produção de mudas de rambuteira.

Palavras-chave: adubação, composto orgânico, *Nephelium lappaceum*, rambutan.

ABSTRACT

Rambutan is highly productive and the fruit is rich in antioxidants. For successful orchard establishment, it is crucial to have high-quality seedlings, and the substrate is an important factor that influences plant growth in the nursery. Therefore, the aim of this study was to evaluate doses of controlled-release fertilizer in alternative substrates on the formation and quality of rambutan seedlings. The experiment was conducted at the Forest Technology Foundation nursery in Acre, Brazil, from April to September 2022. The experimental design was randomized in a 4 x 5 factorial scheme (substrates and fertilizer doses), totaling 20 treatments, with 30 plants for each. There was a significant effect of substrates on plant height, stem diameter, height/diameter ratio, shoot dry mass, root dry mass, total dry mass, Dickson quality index, and total chlorophyll. The results showed that plant height and stem diameter were significant factors for plant growth. The distribution of dry mass in seedlings was influenced by the substrates, with seedlings produced in organic compost substrate based on grass having the highest Dickson quality index. The use of organic compost substrate resulted in higher quality seedlings, and the recommended average fertilizer dose was 6.3 kg m⁻³. The inclusion of agroforestry residues in the substrate composition showed significant benefits. It is concluded that the use of alternative substrates and controlled-release fertilizers is recommended for the production of rambutan seedlings.

Keywords: fertilization, organic compost, *Nephelium lappaceum*, rambutan.

4. 1 INTRODUÇÃO

A espécie *Nephelium lappaceum* L., pertencente à família Sapindaceae, é uma frutífera exótica originária do sudeste da Ásia e pode alcançar até 20 m de altura (RASHIED et al., 2022). Os frutos são popularmente conhecidos como rambutan, rambutão ou rambutã e podem ser consumidos *in natural* ou na forma de doce, compota, marmelada, geleia, entre outros (TSONG et al., 2021). São ricos em carboidratos, proteínas, fibras, antioxidantes e betacaroteno (TORGBO et al., 2022; YUSLIANTI et al., 2021; LEE et al., 2020).

A rambuteira é uma espécie de alta produtividade, como é evidente na Índia, onde uma planta adulta pode produzir cerca de 2 mil frutos por safra, com massa fresca total de 60 a 70 kg/planta (TRIPATHI et al., 2020). Na Costa Rica, em sistema de monocultivo pode render 19,5 toneladas de frutos por hectare (GOENAGA; JENKINS, 2011). Além disso, a cultura é recomendada para ser plantada em sistemas agroflorestais (WANDERI et al., 2019). No Brasil, a espécie tem sido cultivada em várias regiões, como Amazonas, Bahia, São Paulo, Pará e Rondônia (ANDRADE et al., 2009; SACRAMENTO et al., 2013).

A qualidade da muda é essencial na implantação de pomares, e o substrato é um fator chave no crescimento das plantas em viveiro, sendo responsável pela sustentação da planta, por disponibilizar água, nutrientes e oxigênio (ARAÚJO et al., 2017). No entanto, a dependência de substratos produzidos em lugares distantes aumenta os custos. Por isso, a produção de substratos com materiais locais adequados e renováveis pode garantir a sustentabilidade e reduzir custos na produção de mudas (MANCA, 2020).

Para isso, o composto orgânico de materiais provenientes da agroindústria ou propriedade rural são opções promissoras, pois é o resultado da fermentação de material orgânico e proporciona propriedades físico-químicas para o crescimento das mudas (ARAÚJO et al., 2021; PINTO et al., 2021). Entre as opções de matéria-prima, está o uso de plantas espontâneas (braquiária, puerária, carrapicho), um material de fácil aquisição que cresce espontaneamente às margens das estradas vicinais na zona rural. Por isso, constitui-se em possível solução econômica e ecologicamente viável. Outro material orgânico promissor é a casca de castanha-do-brasil, promovendo a reutilização de nutrientes que estão presentes na composição do resíduo, reduzindo o impacto ao ambiente e custos na produção de mudas (ANDRADE et al., 2015; SOARES et al., 2014).

No entanto, é importante lembrar que o substrato utilizado na produção de mudas pode não conter a quantidade de nutrientes necessários para o crescimento das plantas. Para contornar essa situação, é recomendado o uso de fertilizantes de liberação controlada (FLC). Essa tecnologia consiste em um núcleo de nutriente solúvel cercado por uma camada insolúvel, permitindo a liberação gradativa dos nutrientes. A água infiltra-se no grânulo, gerando pressão osmótica, o que por sua vez, leva à liberação dos nutrientes (GUTIERREZ et al. 2022).

O uso de FLC na produção de mudas proporciona disponibilidade contínua dos nutrientes por um período de 6 a 12 meses, depende da formulação, diminuindo a possibilidade de perdas por lixiviação e mantendo a planta constantemente nutrida durante o crescimento inicial, resultando em uma redução nos custos operacionais (ALMEIDA et al., 2019). Neste sentido, o objetivo da pesquisa foi avaliar doses de fertilizante de liberação controlada em substratos alternativos na formação e qualidade de mudas de rambuteira.

4. 2 METODOLOGIA

No período de abril a agosto de 2020 foi realizado o experimento em um viveiro florestal instalado na Fundação de Tecnologia do Estado do Acre (FUNTAC), no município Rio Branco, Acre. O clima local, conforme a classificação de Alvarez et al. (2013), é do tipo Am, tropical de monção, com temperatura média anual em torno de 26 °C e precipitação variando de 2.200 a 2.500 mm.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, organizado em esquema fatorial 4 x 5, totalizando 20 tratamentos, sendo 30 plantas para cada. Foram utilizados quatro substratos no primeiro fator: substrato comercial (SC); CO (composto orgânico à base de plantas espontâneas), CF (composto orgânico com farinha de casca de castanha na proporção 2:1) e CC (composto orgânico com casca de castanha na proporção 2:1).

No segundo fator, foram testadas as doses 0, 3, 6, 9 e 12 kg m⁻³ de substrato, o fertilizante de liberação controlada Basacote® com formulação NPK 15-09-12, 15% de nitrogênio (N); 9,0% de fósforo (P₂O₅), 12% de potássio (K₂O), acrescido de 2,6% de magnésio (MgO); 0,05% de boro (B); 0,4% de cobre (Cu); 1,3% de ferro (Fe); 0,05% de manganês (Mn); 0,02% de molibdênio (Mo); 0,4% de zinco (Zn). O fertilizante foi incorporado ao substrato no momento da repicagem das mudas.

O substrato comercial Vivato Plus® foi adquirido em Rio Branco, sendo composto por casca de pinus bio-estabilizada, vermiculita, moinha de carvão vegetal e espuma fenólica. O composto orgânico foi produzido em pilhas de compostagem, montadas com 90% de plantas espontâneas (capim braquiária, pueraria e carrapicho) e 10% de camada orgânica de floresta virgem, no Sítio Ecológico Seridó em Rio Branco, AC, na latitude de 9°53' S e longitude 67°49' O. As pilhas foram expostas ao ambiente até a decomposição, com temperatura abaixo dos 35°C, indicando o fim da fase de fermentação e o início da mineralização da matéria orgânica. Os substratos contendo casca e farinha de castanha foram produzidos a partir de resíduos doados pela cooperativa COOPERACRE. O material foi separado segundo a granulometria e peneirado (casca de castanha na malha de > 4,75 < 6,30 mm, farinha de castanha na malha de > 1,20 < 0,430 mm).

A caracterização físico-química dos substratos foi realizada pelo laboratório de análise do solo e planta do Instituto Agrônomo de Campinas - IAC (Tabela 1). As propriedades físicas foram obtidas mediante procedimentos descritos nas instruções normativas 17 e 31, de 21 de maio de 2007 e 23 de outubro de 2008, do Ministério de Estado da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, respectivamente, com exceção da porosidade, que foi estimada pelo método European Standart. A determinação das concentrações dos macros e micronutrientes presentes em cada substrato foi feita pelo método de extração nítrico-perclórico, exceto para o nitrogênio, que foi quantificado pelo método de digestão de Kjeldahl, e teor de carbono orgânico foi mensurado pelo método de Walkley-Black.

Tabela 1 - Característica: (a) física e (b) química dos substratos comercial (SC), composto orgânico (CO), composto + farinha de castanha (CF), composto + casca de castanha (CC) utilizados para a produção de mudas de rambuteira.

(A)

Substrato	CE ds m ⁻¹	UM %m/m	DU kg m ⁻³	CRA %mm	CTC mmolc dm ⁻³	PT % v/v
SC	1,3	39,6	451,9	292,0	200,0	85,4
CO	0,5	46,4	782,3	140,5	185,8	82,2
CF	0,8	39,3	686,9	159,7	301,7	79,6
CC	0,7	37,5	743,7	99,0	231,3	77,0

Em que: CE - Condutividade elétrica; UM - Umidade; DU - Densidade úmida; CRA - Capacidade de retenção de água; CTC - Capacidade de troca catiônica e PT - Porosidade Total.

(B)

Substrato	pH	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	B	Cu	Zn	C/N
		-----g kg ⁻¹ -----								-----mg kg ⁻¹ -----		%
SC	5,6	4,0	2,5	6,9	10,4	14,4	10,7	0,5	114,6	29,7	190,7	83,2
CO	5,8	6,3	0,7	3,4	3,0	1,6	9,7	1,0	49,6	8,6	57,4	16,9
CF	5,0	8,2	0,7	5,5	2,4	1,4	7,5	0,6	37,2	14,6	43,6	21,5
CC	5,0	5,8	0,7	5,3	2,6	1,3	7,3	0,7	39,1	9,3	43,7	39,5

Em que: pH - Potencial Hidrogeniônico; N - Nitrogênio; P - Fósforo; K - Potássio; Ca - Cálcio; Mg - Magnésio; Fe - Ferro; Mn - Manganês; B - Boro; Cu - Cobre; Zn - Zinco e C/N - Relação carbono e nitrogênio.

As sementes utilizadas no experimento foram doadas pela Associação dos Pequenos Agrossilvicultores do Projeto Reça, provenientes de 15 matrizes localizadas no distrito de Nova Califórnia, RO (9°41'48,8"S; 66°36'53,9"O). Para a semeadura, a areia foi esterilizada a 120 °C por 24 horas e as sementes foram semeadas a profundidade de 3 cm. Aos 30 dias, as mudas foram replantadas em tubetes de polipropileno atóxico preto de 180 cm³ em formato cônico, onde permaneceram por 120 dias em um viveiro coberto por tela monofilamentosa que filtrava 50% da luminosidade incidente. Os tubetes foram preenchidos com substrato e acondicionados em bandejas apropriadas sobre bancadas suspensas a 1,0 m do solo. As plantas foram irrigadas diariamente, duas vezes ao dia, com uma lâmina líquida de 12 mm dia⁻¹, aplicada por meio de microaspersores.

Aos 150 dias após semeadura as mudas foram submetidas as seguintes análises biométricas: altura da planta (AP) aferição realizada com auxílio de uma régua graduada (cm), e, diâmetro do coleto (DC) com o auxílio de um paquímetro digital. Posteriormente, as amostras foram inseridas em embalagens de papel Kraft e levadas para secagem em estufa de ventilação forçada à temperatura de 65 °C, até atingir massa constante. A aferição das massas secas parte aérea (MSPA), raiz (MSR) e total (MST) foram realizadas utilizando uma balança semi-analítica (0,01g). A partir dos valores obtidos, foi calculado o Índice de Qualidade de Dickson (1960), com a seguinte fórmula: IQD = MST (g) / [(AP (cm) / DC (mm)) + (MAS (g) / MSR (g))]. Além das análises biométricas descritas, também foi realizada a análise química das folhas das mudas, em que as amostras foram enviadas ao laboratório de análise foliar da Universidade Federal de Viçosa.

Para determinar o teor de clorofila foram coletadas amostras de folhas de cada tratamento, as quais foram cuidadosamente cortadas em pequenos fragmentos com aproximadamente 50 mg de massa fresca. Em seguida, as amostras foram colocadas em tubos de ensaio protegidos da luz com papel alumínio e imersas em 7 mL de acetona 80%.

Os tubos foram mantidos em geladeira a 4 °C por 48 horas para a extração dos pigmentos. Após a extração, a solução resultante foi levada ao espectrofotômetro para leitura da absorbância nos comprimentos de onda 664 nm e 646 nm. Utilizando as leituras observadas, foi possível determinar os teores de pigmentos seguindo a equação proposta por Lichtenthaler; Welburn (1983): Clorofila total = (17,3 x A646 + 7,18 x A664). O resultado foi obtido em mg L⁻¹ e posteriormente transformado para mg g⁻¹ de massa fresca.

Os dados obtidos neste estudo foram submetidos a uma série de análises estatísticas, incluindo a verificação de pressupostos de análise de variância, como a checagem de dados discrepantes, normalidade dos erros e homogeneidade das variâncias. Em seguida, foi realizado o Teste F e, quando significativo, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, e de regressão para os tratamentos quantitativos (doses de fertilizante de liberação controlada), utilizando o pacote estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011). Além disso, foi realizado o cálculo dos coeficientes de correlação simples de Pearson (r) entre as variáveis. As variáveis analisadas das mudas também foram submetidas à análise multivariada de agrupamento pelo método de Ward, utilizando a distância Euclidiana, através da matriz de dados padronizados para cada variável.

4. 3 RESULTADOS

O crescimento das mudas foi influenciado pela composição do substrato e fertilizante de liberação controlada, quanto pela interação destes dois fatores (Apêndice). As plantas conduzidas no substrato contendo farinha de castanha (CF) apresentaram resposta positiva em relação à variável diâmetro do coleto, tendo o melhor desempenho entre os substratos analisados (Tabela 3). Adicionalmente, é importante destacar que as mudas no substrato com composto orgânico + casca de castanha obtiveram diâmetros similares aos do substrato contendo farinha de castanha quando expostas às dosagens de 3, 6 e 12 kg m⁻³.

Os resultados indicam que a menor relação entre altura e diâmetro das mudas foi observada nos tratamentos em que não foi aplicado fertilizante. Notou-se que, nas doses de 0 e 3, os substratos que continham casca e farinha de castanha apresentaram a menor relação altura/diâmetro, enquanto, nas doses de 6, 9 e 12 kg m⁻³, essa relação foi menor no substrato controle (Tabela 2).

Tabela 2 - Influência dos substratos e doses de fertilizante no crescimento em: altura da planta (AP), diâmetro do coleto (DC), relação altura e diâmetro (AP/DC), massas secas da raiz (MSR), aérea (MSA) e (f) total (MST), índice de qualidade de Dickson (IQD) e clorofila total (CFT), Equação, R² e dose máxima de eficiência (DME) aos 150 dias em mudas de rambuteira.

Variável	Substrato	Doses de FLC (kg m ⁻³)					Equação	R ²	DME (kg m ⁻³)
		0	3	6	9	12			
AP (cm)	SC	25,85 bc	29,69 b	32,73 c	33,36 b	29,88 b	$y = -0,1216x^2 + 1,7744x + 26,48$	0,9476	7,30
	CO	32,17 a	34,13 a	36,93 a	36,24 a	32,60 a	$y = -0,1166x^2 + 1,4980x + 31,72$	0,9018	6,42
	CF	27,66 b	30,71 b	34,32 b	37,45 a	32,49 a	$y = -0,1310x^2 + 2,1181x + 26,89$	0,8512	8,08
	CC	25,71 c	29,74 b	35,44 b	34,39 b	32,40 a	$y = -0,1491x^2 + 2,3905x + 25,25$	0,9417	8,02
DC (mm)	SC	4,20 bc	4,44 b	4,61 b	4,76 b	4,27 bc	$y = -0,0118x^2 + 0,1576x + 4,15$	0,8232	6,68
	CO	4,07 c	4,14 c	4,35 c	4,27 d	4,12 c	$y = -0,0058x^2 + 0,0767x + 4,04$	0,8142	6,61
	CF	4,50 a	4,68 a	4,86 a	5,04 a	4,34 ab	$y = -0,0139x^2 + 0,1680x + 4,42$	0,7129	6,04
	CC	4,33 b	4,55 ab	4,72 ab	4,57 c	4,44 a	$y = -0,0082x^2 + 0,1061x + 4,33$	0,9215	6,50
AP/DC	SC	6,40 b	6,75 a	7,10 a	7,01 a	7,00 a	$y = -0,0091x^2 + 0,1585x + 6,40$	0,9591	8,70
	CO	7,90 c	8,25 b	8,49 c	8,52 c	7,91 c	$y = -0,0168x^2 + 0,2110x + 7,85$	0,9174	6,28
	CF	6,18 ab	6,57 a	7,07 a	7,43 b	7,49 b	$y = -0,0065x^2 + 0,1938x + 6,13$	0,9860	14,9
	CC	5,94 a	6,54 a	7,50 b	7,54 b	7,30 ab	$y = -0,0206x^2 + 0,3714x + 5,85$	0,9529	9,01
MSR (g)	SC	1,08 b	1,19 b	1,28 b	1,24 b	1,03 b	$y = -0,0061x^2 + 0,0715x + 1,07$	0,9359	5,86
	CO	1,29 a	1,45 a	1,48 a	1,34 a	1,14 a	$y = -0,0071x^2 + 0,0710x + 1,30$	0,9900	5,00
	CF	1,14 b	1,19 b	1,24 b	1,15 b	1,09 ab	$y = -0,0027x^2 + 0,0276x + 1,14$	0,8879	5,11
	CC	1,15 b	1,25 b	1,29 b	1,18 b	1,15 a	$y = -0,0033x^2 + 0,0373x + 1,16$	0,7884	5,65
MSA (g)	SC	2,83 b	3,20 b	4,02 c	3,66 b	3,24 b	$y = -0,0219x^2 + 0,3068x + 2,73$	0,8427	7,00
	CO	3,77 a	4,53 a	5,44 a	4,65 a	3,92 a	$y = -0,0371x^2 + 0,4598x + 3,71$	0,8956	6,20
	CF	2,41 c	3,18 b	3,97 c	4,53 a	3,93 a	$y = -0,0235x^2 + 0,4286x + 2,30$	0,9462	9,12
	CC	2,44 c	3,38 b	4,64 b	4,41 a	3,93 a	$y = -0,0342x^2 + 0,5442x + 2,34$	0,9456	7,95
MST (g)	SC	3,91 b	4,38 b	5,30 c	4,91 c	4,27 b	$y = -0,0281x^2 + 0,3783x + 3,80$	0,8672	6,73
	CO	5,06 a	5,98 a	6,92 a	5,99 a	5,06 a	$y = -0,0442x^2 + 0,5308x + 5,00$	0,9161	6,00
	CF	3,55 c	4,36 b	5,21 c	5,68 b	5,03 a	$y = -0,0262x^2 + 0,4562x + 3,44$	0,9494	8,70
	CC	3,59 c	4,63 b	5,92 b	5,59 b	5,08 a	$y = -0,0376x^2 + 0,5816x + 3,50$	0,9467	7,73
IQD	SC	0,43 b	0,46 c	0,52 b	0,49 a	0,42 b	$y = -0,0023x^2 + 0,0272x + 0,42$	0,8835	5,91
	CO	0,47 a	0,52 a	0,57 a	0,50 a	0,45 ab	$y = -0,0027x^2 + 0,0299x + 0,47$	0,9134	5,54
	CF	0,43 b	0,47 bc	0,51 b	0,50 a	0,45 a	$y = -0,0017x^2 + 0,0231x + 0,43$	0,9727	6,79
	CC	0,44 ab	0,50 ab	0,53 b	0,49 a	0,47 a	$y = -0,0018x^2 + 0,0234x + 0,45$	0,9038	6,50
CFT (mg L ⁻¹)	SC	6,61 b	8,44 b	9,49 b	13,32 b	10,88 b	$y = -0,0457x^2 + 0,9952x + 6,24$	0,7939	10,89
	CO	10,32 a	12,90 a	19,92 a	21,46 a	17,22 a	$y = -0,1517x^2 + 2,5656x + 9,16$	0,8661	8,46
	CF	8,14 ab	8,53 b	9,23 b	10,45 c	8,60 bc	$y = -0,0314x^2 + 0,4708x + 7,86$	0,5883	7,50
	CC	6,80 b	8,18 b	8,66 b	8,49 c	7,58 c	$y = -0,0415x^2 + 0,5608x + 6,82$	0,9982	6,76

As médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si estatisticamente ao teste de Tukey à 5% de probabilidade.

No que diz respeito ao acúmulo de biomassa, as mudas cultivadas em substrato à base de plantas espontâneas apresentaram o maior incremento, independentemente da dosagem de fertilizante. Esse substrato demonstra acúmulo bem distribuído de massa entre a parte aérea e radicular, visto que apresenta os valores mais elevados em ambas as estruturas vegetais. Por outro lado, os substratos contendo casca e farinha de castanha também apresentaram resultados positivos com doses elevadas de fertilizante, enquanto o substrato comercial produziu mudas com menor acúmulo de biomassa.

As mudas produzidas somente em composto orgânico apresentaram o maior Índice de Qualidade de Dickson, enquanto em CC e FC, em doses específicas, apresentaram valores iguais ou superiores, em comparação às plântulas cultivadas em substrato convencional. Observou que na dose de 12 kg m^{-3} , os substratos alternativos apresentaram os melhores resultados (Tabela 3).

Quando se observa o desdobramento da interação entre a dose de fertilizante e substrato, a aplicação da dosagem de $6,0 \text{ kg m}^{-3}$ contribui para o crescimento adequado das mudas, resultando em qualidade e desempenho. Entretanto, a maior dose leva a um decréscimo nos valores médios das variáveis em todos os tratamentos (Tabela 2).

As mudas cultivadas em substrato formulado com composto orgânico a base de plantas espontâneas apresentaram maior produção de clorofila total (Tabela 2). Além disso, a análise da interação entre a dose de fertilizante aplicada e a produção de clorofila revelou que a eficiência fotossintética foi maximizada com o aumento da dose de fertilizante, atingindo o ponto máximo de $6,76 \text{ kg m}^{-3}$, em seguida, decrescendo a produção de clorofila (Tabela 2).

No entanto, mesmo atingindo um ponto máximo, doses superiores a 9 kg m^{-3} de fertilizante causaram diminuições na maioria das características analisadas, o que indica a possibilidade de excesso de nutrientes e desequilíbrio nutricional. Em contrapartida, a dose ideal de fertilizante de liberação controlada para o composto orgânico foi de $6,3 \text{ kg m}^{-3}$ e para o composto mais farinha de castanha (proporção 2:1) de $7,1 \text{ kg m}^{-3}$, ambos são menores do que a média para o substrato comercial ($7,2 \text{ kg m}^{-3}$).

A partir da análise de correlação de Pearson (Tabela 3), verificou-se uma forte associação entre a massa seca da parte aérea e a altura da planta. Adicionalmente, a massa seca total demonstrou uma boa correlação com a altura da planta. Por outro lado, o índice de qualidade Dickson apresentou uma correlação positiva com a massa seca de raiz. Esses resultados indicam que o crescimento das mudas está intimamente ligado à massa seca da planta.

Tabela 3 - Correlações entre as variáveis: altura da planta (AP), diâmetro do coleto (DC), relação altura e diâmetro (AP/DC), massas secas da raiz (MSR), aérea (MSA) e total (MST), índice de qualidade de Dickson (IQD) e clorofila total (CFT) aos 150 dias em mudas de rambuteira.

Variáveis	AP	DC	AP/DC	MSR	MSA	MST	IQD	CFT
AP	-							
DC	0,330	-						
AP/DC	0,821	-0,267	-					
MSR	0,558	-0,066	0,620	-				
MSA	0,946	0,122	0,887	0,655	-			
MST	0,933	0,102	0,887	0,728	0,995	-		
IQD	0,753	0,341	0,564	0,852	0,815	0,853	-	
CFT	0,584	-0,270	0,767	0,563	0,612	0,631	0,402	-

O uso de composto orgânico como meio de cultivo melhora a nutrição das plantas, com teores mais elevados de nutrientes foliares em comparação ao substrato controle (Tabela 4).

Tabela 4 - Teor de nutrientes nas folhas de mudas de rambuteira para as combinações de substrato e dose de fertilizante aos 150 dias em viveiro.

Substrato	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Zn	Mn	B
	-----mg/planta-----						-----µg/planta-----				
SC0	38,49	4,36	17,97	47,20	6,45	3,06	14,60	292,74	50,53	336,30	179,35
SC3	47,97	5,06	23,30	44,48	7,58	3,71	17,65	320,78	89,70	471,98	196,98
SC6	73,32	6,39	31,20	53,51	7,93	5,39	19,18	372,04	94,45	984,48	241,76
SC9	70,71	5,71	26,21	42,49	7,47	5,23	16,23	384,65	119,85	1040,10	191,31
SC12	58,58	4,99	29,26	36,94	6,03	5,25	13,28	360,40	98,77	1367,39	171,87
CO0	59,45	6,11	21,90	38,11	12,21	4,94	23,00	281,52	32,72	899,60	129,59
CO3	72,12	5,75	30,44	51,73	12,05	6,61	25,64	352,09	73,86	3561,46	134,86
CO6	102,60	7,89	37,32	57,88	11,64	8,70	21,84	623,59	80,27	5594,69	161,87
CO9	84,07	5,16	28,27	50,55	10,93	6,09	19,39	419,01	70,82	4842,42	130,60
CO12	88,47	6,86	26,15	44,18	8,98	7,06	19,74	456,92	64,35	6977,50	159,25
CF0	32,41	3,11	21,06	18,63	4,68	3,13	20,1	272,19	22,79	1373,71	87,75
CF3	42,26	3,53	26,65	25,98	6,17	3,66	11,32	302,59	20,4	2566,26	124,19
CF6	55,82	4,53	29,58	33,15	7,23	4,41	20,96	465,22	37,73	4371,96	127,93
CF9	63,01	5,35	35,02	36,38	9,38	6,02	13,39	423,92	45,5	4191,02	130,58
CF12	71,05	7,23	31,32	31,87	8,1	5,23	12,32	361,15	41,48	5308,59	129,75
CC0	31,31	3,07	23,74	21,18	5,10	2,76	16,65	226,25	21,09	1589,82	113,51
CC3	48,06	4,56	24,20	33,02	8,15	4,43	23,37	346,77	40,46	3231,69	152,05
CC6	76,00	5,85	27,65	40,28	10,02	5,80	21,27	412,33	51,43	4772,87	156,81
CC9	70,21	5,03	29,50	41,63	9,75	6,22	18,65	389,54	38,50	5273,52	164,53
CC12	71,05	5,23	27,47	34,23	8,17	5,78	13,66	321,63	32,23	5056,69	157,42

Em que: N - Nitrogênio; P - Fósforo; K - Potássio; Ca - Cálcio; Mg - Magnésio; S - enxofre; Cu - Cobre; Fe - Ferro; Zn - Zinco; Mn - Manganês; B - Boro; SC - substrato comercial nas doses 0, 3, 6, 9, 12 kg m⁻³; CO - composto orgânico de plantas espontâneas nas doses 0, 3, 6, 9, 12 kg m⁻³; CF - composto orgânico + farinha castanha (2:1) nas doses 0, 3, 6, 9, 12 kg m⁻³ e CC - composto orgânico + casca de castanha (2:1) nas doses 0, 3, 6, 9, 12 kg m⁻³.

Destaca-se que o elemento N apresentou concentrações mais elevadas em dose de $6,0 \text{ kg m}^{-3}$, exceto para o substrato que contém composto orgânico + farinha de castanha. Além disso, vale ressaltar a elevada presença de Mn nos substratos compostados, com valores quatro vezes superiores quando comparados ao substrato comercial (Tabela 5). Ao examinar os resultados da tabela 5 para o substrato comercial, constatou-se aumento dos níveis de boro, o que pode ter causado queima na ponta das folhas no primeiro mês (Figura 2).

Figura 2 - Folha de mudas de rambuteira cultivadas no substrato comercial. (A) Várias mudas apresentaram lesões; (B) ponta da folha queimada.



Fonte: autor.

A análise hierárquica de agrupamento utilizando o método de Ward identificou três grupos distintos com base nas características biométricas das mudas estudadas, separados por uma distância de corte de 135 no dendrograma (Figura 3). Essa análise permitiu uma melhor compreensão das relações entre as classes de mudas, identificando características importantes para o desenvolvimento das plantas. Neste estudo, observou que a análise hierárquica de agrupamento pode ser agrupada em três grupos distintos com base em características biométricas das mudas.

dentro da faixa aceitável e com valores inferiores a 10, que é o valor máximo recomendado por Almeida et al. (2020).

Com relação à distribuição da massa seca nas plântulas, destaca-se que as plantas acumularam maior quantidade no eixo aéreo em relação ao eixo radicular. É provável que isso tenha acontecido devido às condições químicas adequadas de todos os substratos. Barbosa et al. (2019) observaram que mudas produzidas em substratos orgânicos/férteis podem ter menor acúmulo de biomassa radicular, pois não há necessidade de priorizar o crescimento radicular para absorver nutrientes. Em vez disso, a prioridade é aumentar a parte aérea.

Destacar a importância de considerar múltiplas variáveis no processo de seleção das mudas de melhor qualidade é crucial. Moreno et al. (2021) propõem o uso do Índice de Qualidade de Dickson como um indicador confiável, visto que leva em conta diversas características morfológicas relevantes, como robustez e equilíbrio na distribuição de biomassa. Em relação à classificação do IQD proposta por Sáenz et al. (2010), valores abaixo de 0,2 indicam baixa qualidade, valores entre 0,2 e 0,5 correspondem a qualidade mediana, e valores acima de 0,5 indicam alta qualidade. Entretanto, é importante notar que esses critérios foram estabelecidos com base em estudos realizados em pinheiros. Não há estudos que sugerem valores referenciais de qualidade para mudas de rambuteira. Por outro lado, os substratos alternativos proporcionaram qualidade igual ou superior ao convencional.

Segundo Araújo et al., (2020), os resultados obtidos com os substratos alternativos são benéficos, pois além de reduzir o custo de produção, atua também de forma sustentável ao aproveitar resíduos das agroindustriais. Além disso, a casca de castanha pode atuar como bioestimulante para a planta, disponibilizando nutrientes a longo prazo para o crescimento das mudas no campo, como cálcio, magnésio e fósforo, que estão lignificados (SOARES et al., 2014). Essa ação bioestimulante contribuiu para o equilíbrio no crescimento e acúmulo de biomassa das frações aéreas e radiculares, resultando em mudas robustas com maior probabilidade de sobrevivência no campo, como indicado pelo índice de qualidade de Dickson.

A partir dos resultados obtidos, fica evidente que o uso de composto orgânico cultivado de mudas pode ser vantajoso para o desenvolvimento das plantas. Isso se deve ao aumento da concentração de nitrogênio e clorofila nas folhas. No entanto, é importante ressaltar que a quantidade ideal de fertilizante de liberação controlada pode variar conforme a espécie e o tipo de substrato utilizado. No estudo em questão, doses

acima de 9 kg m^{-3} de FLC foram associadas à redução da maioria das características analisadas, indicando um possível excesso de nutrientes. Por outro lado, a dose de 6 kg m^{-3} ou mais para os substratos comercial, composto + farinha de castanha e composto + casca de castanha, alcançaram a faixa de suficiência de $15 \text{ a } 50 \text{ g kg}^{-1}$ de nitrogênio foliar proposta por Marengo e Lopes (2013). É válido ressaltar que todas as doses do composto orgânico à base de capim estão dentro dessa faixa de suficiência.

De acordo com Malavolta (2006), o nitrogênio é um elemento vital para a formação de proteínas, ácidos nucleicos, clorofila e outros componentes celulares. Logo, a disponibilidade desse nutriente no substrato é essencial para o crescimento saudável das plantas, especialmente durante a fase de mudas. Estudo com espécie da mesma família que a rambuteira demonstrou que a adição de quantidades adequadas de nitrogênio pode aumentar significativamente a produção de clorofila e a taxa de crescimento das mudas de lichieira (SMARSI et al., 2011).

As mudas cultivadas com os substratos compostos a base de plantas espontâneas mais casca (na proporção 2:1) e composto mais farinha (na proporção 2:1), apresentaram maior absorção de manganês em comparação com as produzidas com o substrato comercial. O manganês é um micronutriente crítico para o funcionamento fotossintético, respiratório e metabólico, mas em excesso pode causar fitotoxicidade (OLIVEIRA; ANDRADE, 2021).

As plantas que receberam a dosagem de 12 kg m^{-3} de fertilizante, apresentaram uma absorção de manganês quatro vezes superior às produzidas com substrato controle, sugerindo que a espécie possua tolerância a este nutriente. O excesso de fertilizante pode aumentar a absorção de manganês pelas plantas porque muitos fertilizantes contêm altas concentrações de sais de amônio ou nitrato, que diminuem o pH do solo. Quando o pH do solo fica mais ácido, o manganês presente no solo pode se tornar mais solúvel e, conseqüentemente, mais disponível para as plantas absorverem (OLIVEIRA e ANDRADE, 2021).

De acordo com Goenaga (2011), a rambuteira é uma planta tolerante a solos ácidos, incluindo níveis elevados de Al e Mn, sem influenciar negativamente no crescimento. O autor propõe que a espécie possa ter algum mecanismo de suporte ao excesso de Mn sem prejuízo, o que pode ser o acúmulo em tecidos fotossintéticos.

É possível que as mudas cultivadas no substrato comercial tenham absorvido menos Mn devido ao desequilíbrio na proporção de outros nutrientes presentes em grande quantidade na composição do substrato. Estudo realizado por Lima Neto (2014)

indica que a presença excessiva de zinco no substrato de mudas de caramboleira influenciou na absorção de manganês, uma vez que ambos os nutrientes competem pelos mesmos canais de transporte e absorção. Esse desequilíbrio pode comprometer processos metabólicos essenciais, como a fotossíntese e a respiração celular, o que pode resultar em redução no acúmulo de biomassa e limitação no desenvolvimento das plantas (MARENCO; LOPES, 2013). A presença de 30 mg kg^{-1} de zinco no substrato comercial pode ser um fator limitante para o crescimento das mudas, pois é superior à 17 mg kg^{-1} relatada por Vargas-Calvo (2009) para plantas saudáveis de rambuteira.

Segundo Alejandro et al. (2020), a deficiência de Mn é caracterizada por acúmulo reduzido de biomassa, teor de clorofila e crescimento limitado. Tais constatações foram verificadas em plantas produzidas em substrato comercial no estudo em questão. Por outro lado, o excesso de B pode gerar um gradiente acentuado de concentração desse elemento, que acumula do pecíolo em direção à ponta da folha, ocasionando simultaneamente aumento de transpiração e perda de água (LANDI et al., 2019). Conforme o estudo de Vargas-Calvo (2009), as lesões nas bordas das folhas da rambuteira são sintomas característicos da toxicidade de boro. Esses sintomas são consistentes com as lesões foliares observadas em mudas cultivadas em substrato comercial, que apresentaram variações no conteúdo de micronutrientes, principalmente de boro. Essas variações sugerem que a presença de boro no substrato comercial pode ter sido a responsável pelas lesões foliares verificadas.

Além disso, o uso de composto orgânico tem se mostrado uma alternativa eficaz para promover o crescimento das mudas com menor necessidade de fertilizantes em comparação com o substrato comercial. Em uma pesquisa com mudas de itaúba foi verificado que o uso de composto orgânico à base de plantas espontâneas resultou em maior altura, diâmetro do caule, massas secas aérea, raiz e total e maior índice de qualidade de Dickson em comparação com o substrato comercial (RIBEIRO et al., 2019).

Utilizando a medida de dissimilaridade da distância Euclidiana e o método Ward para identificar a organização em grupos dos substratos na pesquisa, foi observado que o tratamento contendo composto orgânico apresentou desempenho superior nas doses de 6 e 9 kg m^{-3} de FLC. De acordo com Cunha et al. (2021), que observaram melhores resultados com a dose de 6 kg m^{-3} de fertilizante para o crescimento de mudas de *Poncirus trifoliata*. Portanto, a análise euclidiana se mostrou eficiente na identificação dos grupos de substratos, indicando que o uso de composto orgânico na dose de 6 a 9 kg m^{-3} de FLC pode ser uma opção viável para a produção de mudas de rambuteira.

O presente estudo aponta que a utilização de substratos alternativos pode resultar em mudas de qualidade igual ou superior às produzidas com substrato comercial. Adicionalmente, o uso desses substratos pode contribuir para o gerenciamento adequado de resíduos sólidos, possibilitando a redução da quantidade desses materiais, conforme indicado por Fiasconaro et al. (2022). Além do mais, a utilização de substratos orgânicos também pode acarretar uma redução dos custos de produção, tendo em vista que estes são menos onerosos quando comparados aos comercializados.

Neste estudo, foi avaliada a relação entre a dose de fertilizante aplicada e o substrato utilizado na produção de mudas. De acordo com os resultados obtidos, foi possível constatar que determinadas dosagens de fertilizante podem aumentar a qualidade das mudas produzidas em substratos orgânicos, em consonância com o que foi observado em estudos anteriores, como o de Moreno et al. (2021). A aplicação da dose correta de fertilizante é essencial, uma vez que baixas dosagens podem comprometer a qualidade das mudas, enquanto dosagens excessivas podem ocasionar efeitos tóxicos. Todavia, o uso apropriado de fertilizantes não apenas resulta em mudas de alta qualidade, como também acarreta a redução dos custos de produção, haja vista a diminuição na necessidade do uso de substratos comercializados (MORENO et al., 2021).

4. 5 CONCLUSÕES

A casca de castanha-do-brasil e o composto orgânico a base de plantas espontâneas podem ser utilizados como substratos para produzir mudas de rambuteira de alta qualidade. O substrato composto à base de plantas espontâneas proporciona condições adequadas ao bom crescimento e qualidade para as mudas, sendo a opção mais promissora entre os substratos avaliados para esta espécie. Além disso, é recomendada a adição de $6,9 \text{ kg m}^{-3}$ de fertilizante de liberação controlada ao substrato durante a produção de mudas de rambuteira, fornecendo os nutrientes necessários para um crescimento saudável das plantas.

REFERÊNCIAS

ALEJANDRO, S.; HÖLLER, S.; MEIER, B.; PEITER, E. Manganese in Plants: From Acquisition to Subcellular Allocation. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, p. 1 - 23, 2020.

ALMEIDA, D. M.; SILVA, B. R. F.; UCELLA FILHO, J. G. M.; SOUSA, A. N.; COSTA, T. L. N. Efeito de diferentes substratos no desenvolvimento inicial de mudas de *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC). **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 5, p. 24619 - 24631, 2020.

ALMEIDA, U. O. de; ANDRADE NETO, R. de C.; ARAUJO, J. M. de; COSTA, D. A. da; TEIXEIRA JÚNIOR, D. L. Fertilizantes de liberação lenta na produção de mudas de frutíferas. **South American Journal**, v. 6, n. 1, p. 518 - 527, 2019.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711 - 728, 2013.

ANDRADE, F. R.; PETTER, F. A.; MARIMON JUNIOR, B. H.; GONÇALVES, L. G. V.; SCHOSSLER, T. R.; NÓBREGA, J. C. A. Formulação de substratos alternativos na formação inicial de mudas de ingazeiro. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 14, n. 4, p. 234 - 239, 2015.

ANDRADE, R. A. de; LEMOS, E. G. de M.; MARTINS, A. B. G.; PAULA, R. C. Caracterização morfológica de plantas de rambutan. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 31, n. 4, p. 613 - 619, 2009.

ARAÚJO, E. F.; AGUIAR, A. S.; ARAUCO, A. M. de S.; GONÇALVES, E. de O.; ALMEIDA, K. N. S. de. Crescimento e qualidade de mudas de paricá produzidas em substratos à base de resíduos orgânicos. **Nativa**, v. 5, n. 1, p. 16 - 23, 2017.

ARAÚJO, E. F.; SOUSA, L. B.; NÓBREGA, R. S. A.; NÓBREGA, J. C. A.; ARAUCO, A. M. de S.; PEREIRA, R. R.; LUTOSA FILHO, F. Organic residues improve the quality and field initial growth of *Senna multijuga* seedlings. **Journal of Sustainable Forestry**, v. 40, n. 3, p. 249 - 262, 2021.

BARBOSA, T. P.; CHAGAS, J. R. M.; SILVA, B. O.; SILVA, E. G.; LIMA, T. T. S. Crescimento e qualidade de mudas de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* em diferentes substratos. **Revista de Ciências Agrárias – American Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 62, p. 1 - 7, 2019.

CUNHA, F. L.; NIERI, E. M.; SANTOS, J. A.; ALMEIDA, R. S.; MELO, L. A.; VENTURIN, N. Uso dos adubos de liberação lenta no setor florestal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 41, p. 1 - 11, 2021.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039 - 1042, 2011.

FIASCONARO, M. L.; ABRILE, M. G.; HINTERMEISTER, L.; ANTOLIN, M. C.; LOVATO, M. E. Application of different doses of compost as a substitution of the commercial substrate in nursery for pepper and tomato seedlings. **International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture**, v. 11, p. 411 - 426, 2022.

GOENAGA, R. Dry matter production and leaf elemental concentrations of rambutan grown on an acid ultisol. **Journal of Plant Nutrition**, v. 34, p. 753 - 761, 2011.

GOENAGA, R.; JENKINS, D. Yield and fruit quality traits of rambutan cultivars grafted onto a common rootstock and grown at two locations in Puerto Rico. **HortTechnology**, v. 21, n. 1, p. 136-140, 2011.

GOMES, S. H. M.; GONÇALVES, F. B.; FERREIRA, R. A.; PEREIRA, F. R. M.; RIBEIRO, M. M. J. Avaliação dos parâmetros morfológicos da qualidade de mudas de *Paubrasilia echinata* (pau-brasil) em viveiro florestal. **Scientia Plena**, v. 15, p. 11 - 19, 2019.

GROSSNICKLE, S. C.; MACDONALD, J. E. Seedling Quality: History, Application, and Plant Attributes. **Forests**, v. 9, p. 283 - 294, 2018.

GUTIERREZ, C. A.; LEDEZMA-DELGADILLO, A.; JUAREZ-LUNA, G.; NERI-TORRES, E. E.; IBANEZ, J. G.; QUEVEDO, I. R. Production, Mechanisms, and Performance of Controlled-Release Fertilizers Encapsulated with Biodegradable-Based Coatings. **ACS Agricultural Science & Technology**, v. 2, n. 6, p. 1101 - 1125, 2022.

LANDI, M.; MARGARITOPOULOU, T.; PAPADAKIS, I. E.; ARANITI, F. Boron toxicity in higher plants: An update. **Planta**, v. 250, p. 1011 - 1032, 2019.

LEE, Y. R.; CHO, H. M.; PARK, E. J.; ZHANG, M.; DOAN, T. P.; LEE, B. W.; CHO, K. A.; OH, W. K. Metabolite Profiling of Rambutan (*Nephelium lappaceum* L.) Seeds Using UPLC-qTOF-MS/MS and Senomorphic Effects in Agend Human Dermal Fibroblasts. **Nutrients**, v. 12, n. 5, p. 1 - 17, 2020.

LICHTENTHALER, K.; WELBURN, A.R. Determination of Total Carotenoids and Chlorophylls A and B of Leaf Extracts in Different Solvents. **Biochemical Society Transactions**, v. 11, p. 591 - 592, 1983.

LIMA NETO, A. J. **Crescimento e acúmulo de nutrientes em porta-enxertos de caramboleira adubados com zinco**. 2014. 69 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias de Jaboticabal. Universidade Estadual Paulista, 2014.

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

MANCA, A.; SILVA, M. R. da; GUERRINI, I. A.; FERNANDES, D. M.; BÔAS, R. L. V.; SILVA, L. C. da; FONSECA, A. C. da; GUGGIU, M. C.; CRUZ, C. V.; SIVISACA, D. C. L.; MATEUS, C. de M. D.; MURGIA, I.; GRILLI, E.; GANGA, A.; CAPRA, G. F. Composted sewage sludge with sugarcane bagasse as commercial substrate for *Eucalyptus urograndis* seedling production. **Journal of Cleaner Production**, v. 269, p. 1 - 10, 2020.

MARENCO, R. A.; LOPES, N. F. **Fisiologia Vegetal: fotossíntese, respiração, relações hídricas, nutrição mineral**. 3 ed. Viçosa: UFV (Universidade Federal de Viçosa), 2013.

MOREIRA, F. M.; BRAULIO, C. S.; ANJOS, A. S. J. C.; SILVA, J. J.; ROCABADO, J. M. A.; NÓBREGA, R. S. A. Seed emergence and development of *Caesalpinia pulcherrima* L. SW. and *Cassia grandis* L. F. in organic substrates. **Revista Árvore**, v. 46, p. 1 - 9, 2022.

MORENO, G. R.; FERNÁNDEZ, M. E.; CONTRERAS, E. D. Balanced mixture of biochar and synthetic fertilizer increases seedling quality of *Acacia mangium*. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 20, n. 6, p. 371 - 378, 2021.

NOVIKOV, A.; SOKOLOV, S.; DRAPALYUK, M.; ZELIKOV, V.; IVETIC, V. Performance of Scots Pine Seedlings from Seeds Graded by Colour. **Forests**, v. 10, n. 12, p. 1054 - 1064, 2019.

OLIVEIRA, V. H.; ANDRADE, S. A. L. Manganese accumulation and tolerance in *Eucalyptus globulus* and *Corymbia citriodora* seedlings under increasing soil Mn availability. **New Forests**, v. 52, p. 697-711, 2021.

PINTO, G. P.; TOMIO, D. B.; FERREIRA, R. L. F.; ARAÚJO NETO, S. E de; SOUZA, L. G. de S. e; SILVA, N. M. da. Crop of organic arugula in greenhouse using high seedlings from different volumes of substrates. **Comunicata Scientiae**, v. 12, n. 1, p. 1 - 7, 2021.

QUINTANA, Y. G.; CRESPO, Y. A.; DECKER, M.; CASTELO, M. C. Seed viability, germination and seedling quality patterns of three forest species for restoration in Amazonian conditions. **Enfoque UTE**, v.14, n.1, p. 18 - 32, 2023.

RASHIED, T.; ABOAGYE, L. M.; OSAFO, E. A.; DARKO, R.; DASSAH, A.; OPAREH, J. O. Effect of tree age on fruit characteristics, seed emergence and seedling growth in Rambutan (*Nephelium lappaceum* L.). **Journal of Horticultural Sciences**, v. 17, n. 1, p. 245 - 250, 2022.

RIBEIRO, Í. F. N.; CARVALHO, C. A. de .; ANDRADE, R. A. .; SOUZA, F. C. de .; BRITO, R. S. de .; TEIXEIRA JUNIOR, D. L.; NASCIMENTO, M. M. do . Morfometria de mudas de itaúba (*Mezilaurus itauba* (Meisn.) Taub. ex Mez) produzidas a partir de substratos alternativos. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 11, p. 1 - 8, 2021.

SACRAMENTO, C. K.; GATTWARD, J. N.; BARRETO, W. de S.; RIBEIRO, S. J. O.; AHNERT, D. Avaliação da diversidade fenotípica em rambuteiras (*Nephelium lappaceum*) com base na qualidade dos frutos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 35, n. 1, p. 32 - 38, 2013.

SÁENZ, R. J. T.; VILLASEÑOR, R. F. J.; MUÑOZ, F. H. J.; RUEDA, S. A.; PRIETO R. J. A. **Calidad de planta en viveros forestales de clima templado en Michoacán**. ed. 17. SAGARPA/INIFAP/CIRPAC: Uruapan. 2010. 48 p.

SMARSI, R. C.; OLIVEIRA, G. F. de; REIS, L. L. dos; CHAGAS, E. A.; PIO, R.; MENDONÇA, V.; CHAGAS, P. C.; CURI, P. C. Efeito da adubação nitrogenada na produção de mudas de licheira. **Revista Ceres**, v. 58, n. 1, p. 129 - 131, 2011.

SOARES, I. D.; PAIVA, A. V. de; MIRANDA, R. O. V. de; MARANHO, Á. S. Propriedades físico-químicas de resíduos agroflorestais amazônicos para uso como substrato. **Nativa**, v. 2, n. 3, p. 155 - 161, 2014.

TORGBO, S.; RUGTHAWORN, P.; SUKATTA, U.; SUKYAI, P. Biological characterization and quantification of rambutan (*Nephelium lappaceum* L.) peel extract as a potential source of valuable minerals and ellagitannins for industrial applications. **ACS Omega**, v. 7, p. 34647 - 34656, 2022.

TRIPATHI, P. C.; KARUNAKARAN, G.; SAKTHIVEL, T.; SANKAR, V.; SENTHIL KUMAR, R. Status and prospects of rambutan cultivation in India. **Acta Horticulturae**, v. 1293, p. 33 - 40, 2020.

TSONG, J. L.; GOH, L.; P.; W.; GANSAU, J. A.; HOW, S. E. Review of *Nephelium lappaceum*: A High Potential Supplement. **Molecules**, v. 26, n. 7005, p. 1-16, 2021.

VARGAS-CALVO, A. Síntomas asociados con altas concentraciones de boro em rambután (*Nephelium lappaceum*). **Agronomía Mesoamericana**, v. 20, n. 1, p. 121 - 126, 2009.

WANDERI, J. K.; QURNIATI, R.; KASKOYO, H. Kontribusi Tanaman Agroforestri terhadap Pendapatan dan Kesejahteraan Petani. **Jurnal Sylva Lestari**, v. 7, n. 1, p. 118 - 127, 2019.

YUSLIANTI, E. R.; SUTJIATMO, A. B.; SEPTIANI, D. Pemberian madu rambutan (*Nephelium lappaceum*) menurunkan luas luka dan kadar malondialdehid tikus diabetes melitus. **Insisiva Dental Journal: Majalah Kedokteran Gigi Insisiva**, v. 10, n. 1. p. 12 - 19, 2021.

5 CONCLUSÃO GERAL

O teste de condutividade elétrica mostrou-se uma técnica eficiente e rápida para classificar lotes de sementes de rambutan, permitindo a classificação com base no vigor. Os resíduos agrícolas podem ser usados como substratos para produzir mudas de rambuteira de qualidade. O substrato composto a base de plantas espontâneas apresentou bom crescimento e qualidade para as plântulas e é a opção mais promissora entre os substratos avaliados para esta espécie. Além disso, a adição de fertilizante de liberação controlada ao substrato durante a produção de mudas de rambutan é recomendada para fornecer os nutrientes necessários para o crescimento saudável das plantas.

APÊNDICE

Tabela - Resumo da análise de variância (ANOVA) para altura de planta (AP), diâmetro do coleto (DC), relação altura por diâmetro (AP/DC), massas secas da raiz (MSR), aérea (MSA), total (MST), índice de qualidade de Dickson (IQD) e clorofila total (CFT).

Fonte de variação	GL	Quadrados Médios e significância							
		AP	DC	AP/DC	MSR	MSA	MST	IQD	CFT
Substrato (S)	3	135,64*	2,11*	21,02*	0,36*	10,74*	14,93*	>0,01*	290,11*
Dose (D)	4	351,10*	1,33*	7,21*	0,30*	17,11*	19,83*	0,05*	70,79*
S x D	12	17,09*	0,11*	0,86*	0,02*	1,32*	1,46*	>0,01*	16,08*
Erro	180	1,29	0,01	0,10	0,01	0,04	0,06	0,01	1,76
CV (%)		3,52	3,07	4,44	7,56	5,53	4,89	5,84	12,35

*Significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste F; CV: coeficiente de variação.