



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO AMAPÁ  
BACHARELADO EM ENGENHARIA AGRONÔMICA  
CAMPUS PORTO GRANDE

RAQUELINE SHIRLEN DA SILVA BEZERRA

**RELAÇÃO SOLO-PLANTA-PRODUTIVIDADE E ANÁLISE ECONÔMICA DO  
CULTIVO DO AÇAIZEIRO (*Euterpe oleracea* Mart.) ADUBADO COM NPK NO  
CERRADO DO AMAPÁ**

PORTO GRANDE - AP

2025

RAQUELINE SHIRLEN DA SILVA BEZERRA

**RELAÇÃO SOLO–PLANTA–PRODUTIVIDADE E ANÁLISE ECONÔMICA DO  
CULTIVO DO AÇAIZEIRO (*Euterpe oleracea* Mart.) ADUBADO COM NPK NO  
CERRADO DO AMAPÁ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito final para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Agrônômica do Instituto Federal do Amapá, Campus Agrícola Porto Grande.

Orientador: Dr. Nagib Jorge Melém Júnior

Co-orientadores: Dr. Bruno Rogério Silva Cavalcante, Dra. Célia Souza da Costa.

PORTO GRANDE- AP

2025

Biblioteca Institucional - IFAP  
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

---

- B469r      Bezerra , Raqueline Shirlen da Silva  
             Relação Solo?Planta?Produtividade e Análise Econômica do Cultivo do  
             Açazeiro (Euterpe oleracea Mart.) Adubado com NPK no Cerrado do  
             Amapá / Raqueline Shirlen da Silva Bezerra - Porto Grande, 2025.  
             54 f.
- Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -- Instituto Federal de  
             Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá, Campus Porto Grande,  
             Bacharelado em Engenharia Agrônômica, 2025.
- Orientador: Dr., Nagib Jorge Melém Junior .  
             Coorientadora: Dra.,Célia Souza da Costa.
1. Cultivo de açaí em terra firme. 2. Amostragem de solo. 3.  
             Fertilizantes minerais, Análise econômica. I. Junior , Dr., Nagib Jorge  
             Melém , orient. II. Costa, Dra.,Célia Souza da , coorient. III. Título.
-

RAQUELINE SHIRLEN DA SILVA BEZERRA

**RELAÇÃO SOLO-PLANTA-PRODUTIVIDADE E ANÁLISE ECONÔMICA DO  
CULTIVO DO AÇAIZEIRO (*Euterpe oleracea* Mart.) ADUBADO COM NPK NO  
CERRADO DO AMAPÁ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito final para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Agrônoma do Instituto Federal do Amapá, Campus Agrícola Porto Grande.

Orientador: Dr. Nagib Jorge Melém Júnior

Co-orientadores: Dr. Bruno Rogério Silva Cavalcante, Dra. Célia Souza da Costa.

BANCA EXAMINADORA

Dr. NAGIB JORGE MELÉM JÚNIOR (Orientador)

Pesquisador – Embrapa Amapá

Profa. Dra. LILIA RAQUEL FÉ DA SILVA

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá

Profa. Dra. MARLENE EVANGELISTA VIEIRA

Universidade do Estado do Amapá

Apresentado em: 17/12 /2025.

Conceito/Nota: APROVADO/ 93 (noventa e três)

*“In memoriam”* à minha mãe, Maria Raimunda da Silva Bezerra que sempre foi, e sempre será a minha bússola, e a minha força para seguir em frente, mesmo nos dias nublados e tempestuosos.

Também deixo registrado *“in memoriam”* à Caroline Chirle Mota Pinheiro, que sempre esteve ao meu lado, me apoiando e me encorajando a lutar e conquistar o meu espaço em uma Universidade Federal, buscando o conhecimento e a realização de um sonho.

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus por estar comigo e me fortalecer em todos os momentos da minha caminhada. Ele colocou em meu caminho pessoas e amigos(as) que foram fundamentais para a realização desta etapa tão significativa na minha vida.

Dedico este momento à minha mãe, Maria Raimunda da Silva Bezerra (in memoriam), que acreditou em mim e no meu potencial. Foi ao meu lado que ela ajudou a construir essa ponte chamada “Educação”. Sempre me dizia que a educação transforma vidas e que seria o maior legado que deixaria para mim e meus irmãos. E, de facto, transformou a minha. Obrigada, minha rainha, minha mãezinha. Seus ensinamentos foram essenciais nestes 37 anos de caminhada.

Agradeço aos meus filhos, Ruan Carlos da Silva Rodrigues e Renê Mota Pinheiro, que são a razão pela qual cheguei até aqui. Vocês foram meu impulso, meu porto seguro e minha força diária para não desistir e alcançar este momento com mais resiliência.

Ao meu companheiro de longa data, Robson Kleber Duarte Rodrigues, agradeço por todo amor, dedicação e pelo cuidado com nosso filho enquanto eu construía minha trajetória acadêmica. Sou grata pelo apoio, compreensão e paciência diante das minhas ausências, inclusive em datas importantes, enquanto estudava, estagiava e viajava para atividades científicas e visitas técnicas.

À Embrapa Amapá, agradeço pela oportunidade de estágio e pela bolsa de iniciação científica (CNPq/PIBIC), que me permitiram utilizar dados essenciais para o desenvolvimento deste trabalho e ampliaram minha experiência profissional.

Ao pesquisador Dr. Nagib Jorge Melém Júnior (Embrapa Amapá), meu orientador, amigo e conselheiro, expresso minha profunda gratidão. Obrigada pelos conselhos, ensinamentos, carinho, compromisso e dedicação durante meu período como estagiária, bolsista e orientanda. Em momentos de cansaço e pressão, sua paciência e incentivo foram fundamentais para que eu seguisse em frente. Esta conquista também é sua.

À minha coorientadora, Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Célia Souza da Costa (IFAP), agradeço pela longa trajetória que construímos juntas desde 2019. Obrigada por confiar em mim, acreditar no meu potencial e contribuir para o meu crescimento pessoal e profissional. Dedico a você também este momento.

Ao meu coorientador, o Prof.Dr. Bruno Rogério Silva Cavalcante (IFAP), agradeço pelas valiosas contribuições ao longo da minha trajetória acadêmica.

Agradeço a todos os professores que fizeram parte da minha jornada. Cada um deixou um significado especial em minha vida. Cujo comprometimento em nos ensinar, me comprometo como profissional a produzir com responsabilidade ambiental e sustentabilidade, levarei comigo vocês para a vida.

Aos amigos que conquistei no Instituto Federal Carlos Adriano, Lúcia Ferreira, Maurício Nunes e Letícia Cardoso deixo meu sincero agradecimento pela caminhada compartilhada.

Aos amigos de vida Victor Fernando, Teresinha Mescouto, Jose Kelly, Kauã Gabriel, e Lilia Gabriela minha eterna gratidão. Em especial, a Lilia Gabriela, esta conquista também é sua. As noites mal dormidas, as crises de ansiedade, as lágrimas e as dificuldades só não foram maiores graças ao seu apoio, paciência e força. Obrigada por dedicar seu tempo para me ajudar e por sempre me lembrar que tudo daria certo. Que minha mãe Oxum te abençoe.

À minha mãe espiritual, Ramires Gonçalves de Oliveira, agradeço pela ajuda e fortalecimento espiritual. À minha irmã Kelly Nery, a Oxalá e à nossa mãe Oxum, sou profundamente grata por nos unirmos. Com vocês, encontrei forças para prosseguir, buscar conhecimento e manter viva a nossa ancestralidade. A bênção, minha mãe.

Por fim, agradeço a minha família e a todos(as) que contribuíram, de forma direta ou indiretamente, para a realização deste trabalho.

“Faça as coisas o mais simples que você puder, porém não se restrinja às mais simples.”

(Albert Einstein)

## RESUMO

O açazeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) é uma palmeira de grande importância cultural e econômica para a Amazônia, cuja demanda crescente tem levado à expansão do seu cultivo para áreas de terra firme, como no Cerrado do Amapá. Contudo, essa região apresenta solos ácidos e de baixa fertilidade, exigindo práticas de manejo nutricional específicas. Este estudo teve como objetivos avaliar a produtividade do açazeiro irrigado, a altura de plantas e diâmetro à altura do peito, bem como os atributos químicos do solo (pH, cálcio + magnésio e fósforo) em resposta à adubação mineral com nitrogênio, fósforo e potássio, e seus benefícios econômicos em diferentes locais de amostragem de solo em área de Cerrado. O experimento foi conduzido em uma área com açazeiros estabelecidos há nove anos, utilizando um delineamento em blocos casualizados com um arranjo fatorial fracionado, sendo testados quatro níveis para cada fertilizante. O manejo nutricional adequado, incluindo a adubação com N, P e K, é fundamental para o sucesso do cultivo do açazeiro em terra firme no Cerrado do Amapá. As doses otimizadas de fertilizantes não só maximizaram a produtividade, alcançando 13.384 kg/ha, como também demonstraram ser economicamente viáveis, oferecendo uma alternativa sustentável para a produção e fortalecimento da agricultura familiar e empresarial na região.

**Palavras-chave:** cultivo de açaí em terra firme; amostragem de solo; fertilizantes minerais; análise econômica.

## ABSTRACT

The açáí palm (*Euterpe oleracea* Mart.) is a palm tree of great cultural and economic importance to the Amazon, whose growing demand has led to the expansion of its cultivation to upland areas (terra firme), such as in the Amapá Cerrado. However, this region presents acidic soils with low fertility, requiring specific nutritional management practices. This study aimed to evaluate the productivity of irrigated açáí palms, the plant height and diameter at breast height, as well as the chemical attributes of the soil (pH, calcium + magnesium, and phosphorus) in response to mineral fertilization with nitrogen, phosphorus, and potassium, and its economic benefits in different soil sampling locations in a Cerrado area. The experiment was conducted in an area with açáí palms established nine years ago, using a randomized block design with a fractional factorial arrangement, testing four levels for each fertilizer. Adequate nutritional management, including N, P, and K fertilization, is fundamental for the successful cultivation of the açáí palm in upland areas in the Amapá Cerrado. The optimized fertilizer doses not only maximized productivity, reaching 13.384 kg/ha, but also proved to be economically viable, offering a sustainable alternative for production and the strengthening of family and corporate agriculture in the region.

**Keywords:** upland açáí cultivation; soil sampling; mineral fertilizers; economic analysis.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Fertigrama comparativo entre a fertilidades do solo de várzea (Gleissolo) com o solo de terra firme (Latosolo Amarelo)	22
Figura 2 - Mapa da localização da área do experimento	25
Figura 3- Acidez ativa do solo em função dos locais de amostragens e das doses de adubação nitrogenada.	30
Figura 4 - Regressão linear dos Teores de $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ em função dos locais de amostragem e das doses de adubação nitrogenada	32
Figura 5 - Regressão linear dos teores de $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ em função dos locais de amostragens e das doses de adubação fosfatada	34
Figura 6 - Teores de P disponível em função dos locais de amostragens e das doses de adubação fosfatada	37
Figura 7 - Comportamento da altura das plantas em função das doses de N	38
Figura 8- Comportamento da altura das plantas em função das doses de $\text{K}_2\text{O}$	39
Figura 9 - Diâmetro à altura do peito em função das doses de $\text{K}_2\text{O}$	40
Figura 10- Diâmetro à altura do peito em função das doses de $\text{P}_2\text{O}_5$	41
Figura 11 - Produtividade dos frutos em função da resposta a interação entre as doses de $\text{P}_2\text{O}_5/ \text{N}$	42
Figura 12 - Produtividade dos frutos em função da resposta a interação entre as doses de $\text{N}/\text{K}_2\text{O}$	43
Figura 13 - Produtividade dos frutos em função da resposta a interação entre as doses de $\text{K}_2\text{O}/\text{N}$	44

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 - Relação benefício/custo de produção de frutos de  
açai em função de diferentes níveis de adubação mineral

45

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Níveis de adubação, formas elementares e fertilizantes utilizados nitrogenada	26
Tabela 2 - Acidez ativa do solo em função dos locais de amostragens e das doses de adubação nitrogenada	29
Tabela 3- -Teores de $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ em função dos locais de amostragens e das doses de adubação nitrogenada	32
Tabela 4 - Teores de $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ em função dos locais de amostragens e das doses de adubação fosfatada	34
Tabela 5 - Teores de P disponível em função dos locais de amostragens e das doses de adubação fosfatada	36

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>2 OBJETIVOS .....</b>	<b>18</b>
2.1 Objetivo geral .....	18
2.2 Objetivos específicos .....	18
<b>3 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>19</b>
3.1 Características gerais do gênero Euterpe .....	19
3.2 Condições Climáticas e de Fertilidade .....	20
3.3 Inserção de açazeiro de área de várzea para terra firme .....	21
3.4 Acidez do solo e formas de acidificação .....	22
3.5 Dinâmica do fósforo no solo.....	23
<b>4 METODOLOGIA.....</b>	<b>25</b>
4.1 Local de Estudo .....	25
4.2 Delineamento Experimental .....	26
4.3 Manejo e Coleta de Dados .....	27
4.4 Análises realizadas .....	27
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>29</b>
5.1 Efeitos da adubação mineral nos atributos químicos do solo.....	29
5.1.1 Acidez ativa (pH do solo) sob adubação nitrogenada.....	29
5.1.2 Cálcio e magnésio trocáveis .....	31
5.1.2.1 Teores de Cálcio <sup>2+</sup> + Mg <sup>2+</sup> sob adubação nitrogenada.....	31
5.1.2.2 Teores de Cálcio <sup>2+</sup> + Mg <sup>2+</sup> sob adubação fosfatada.....	33
5.1.3 Teores de fósforo disponível no solo sob adubação fosfatada.....	35
5.2 Efeitos da adubação mineral no crescimento vegetativo e na produtividade.....	38
5.2.1 Altura das plantas.....	38
5.2.2 Diâmetro à altura do peito .....	40
5.2.3 Produtividade de frutos.....	41
5.3 Considerações econômicas .....	44
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>47</b>
<b>7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>48</b>
<b>8 APÊNDICE A.....</b>	<b>54</b>
<b>9 APÊNDICE B.....</b>	<b>55</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O açazeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) é uma palmeira nativa, muito frequente na região amazônica (Nogueira *et al.*, 1995) encontrada principalmente em áreas de Várzea. A polpa do açai possui grande apreciação na Região Norte, Sul e Sudeste do Brasil e nos últimos anos o mercado para o produto tem se dinamizado e vem alcançando o mercado externo como alguns países da Europa, Estados Unidos, Japão e China (Souza; Melo; Almeida, 1999; Queiroz; Mochiutti, 2001; Souto, 2001; Silva, 2002; Menezes, 2005; Silveira *et al.*, 2023).

No estuário amazônico, o ecossistema é composto por floresta inundável, com árvores altas, predominando palmeiras de açai (*Euterpe oleracea* Mart.), que constituem tipicamente as várzeas desta região (Almeida; Amaral; Silva, 2004; Jardim; Vieira, 2001; Reis; Almeida, 2012). A influência diária da maré aliada a certo grau de salinidade e ao nível de riqueza do ambiente, diferenciam as várzeas do estuário das demais várzeas da Amazônia (Morán, 1990).

Seus frutos têm tonalidade púrpura e desempenham papel central na conservação ambiental da Amazônia, além de ser fundamental para a economia e cultura dos povos ribeirinhos, quilombolas e comunidades tradicionais. Mais do que fonte de renda para milhares de famílias, o açai constitui um dos principais pilares da segurança alimentar das populações vulneráveis que vivem longe dos centros urbanos. Sua elevada densidade nutricional rica em vitaminas, minerais e antioxidantes o torna essencial na dieta dessas comunidades, especialmente na alimentação infantil primária (Santos; Azevedo-Ramos; Guedes, 2021; Instituto Estudos Amazônicos, 2025).

Além disso, estudos recentes indicam que os sistemas agroextrativistas do açai contribuem de forma significativa para a economia local e para a manutenção de serviços ecossistêmicos, sendo uma alternativa sustentável frente à degradação ambiental e às mudanças climáticas (Wri Brasil, 2023; Diálogos Pró-Açai, 2024; Pasternak, 2025).

Esse fruto, para esses indivíduos é considerado um símbolo de resistência, fonte de vida e alimento altamente nutritivo e sagrado para os povos da Amazônia. O açazeiro não apenas compõe a paisagem dos povos originários dessa região, ele alimenta corpos, sustenta culturas e inspira lendas, atravessa gerações de saberes tradicionais e culturais se tornando um elo entre a natureza e a identidade da região amazônica (Barbosa; Ferraz, 2007).

A grande demanda de mercado pela obtenção do fruto do açai tem causado aumento do cultivo dessa palmeira em terra firme, e conseqüentemente tem havido necessidade de aplicação adequada de técnicas de cultivo. Nesse contexto, torna-se fundamental o

conhecimento em relação a nutrição e fertilização da espécie, tanto para obtenção de altos rendimentos como também para manter um sistema ecologicamente e economicamente sustentável (Chaimsohn, 2001, Embrapa, 2023; Nogueira, 2023).

O cultivo do açaizeiro fora das áreas tradicionais de várzea, como no Cerrado do Amapá, apresenta algumas limitações que influenciam diretamente na produtividade e na disponibilidade desse fruto, que pode estar relacionada à baixa fertilidade dos solos, baixa disponibilidade de água em determinados períodos do ano, na necessidade de práticas de manejo específicas para o açaizeiro, na correção do solo e recomendações de adubação com os macro e micronutrientes, todos de igual importância, destacando-se porém os de maior necessidade pelas plantas como nitrogênio, fósforo e potássio.

De acordo com Silva, 2023 o Cerrado do Amapá, classificado como Savana Amazônica, é um ecossistema singular por ocorrer como um enclave em meio ao domínio da floresta amazônica. Embora o bioma Cerrado tenha seu núcleo no Brasil Central, no Amapá ele aparece de forma disjunta, ocupando cerca de 9.861,89 km<sup>2</sup>, o que corresponde a 6,9% do território estadual. Essa configuração é considerada uma paisagem de exceção, pois contrasta com o clima equatorial úmido predominante na região. Sua origem está associada a variações climáticas do período Pleistoceno, quando condições mais secas favoreceram a expansão das savanas na Amazônia. Com o retorno da umidade, a floresta avançou, mas o Cerrado permaneceu em áreas com solos lixiviados, pobres em nutrientes e ricos em alumínio, que limitam o desenvolvimento de espécies florestais. Assim, o Cerrado amapaense constitui um registro paleoclimático vivo, mantido por fatores edáficos, geológicos e hidrológicos, representando a segunda maior área contínua de savanas da Amazônia.

Grande parte desses solos são considerados ácidos, por apresentarem pH baixo, alta concentração de alumínio tóxico e baixa disponibilidade de nutrientes para as plantas, baixa soma de bases e baixos valores para a saturação por bases, o que compromete o desenvolvimento das culturas agrícolas (Melém Júnior *et al.*, 2008). Tendo em vista o aumento do interesse de produtores empresariais e familiares pela exploração dessa cultura em áreas de terra firme, surge a seguinte questão: quais práticas de manejo nutricional são mais adequadas para garantir o bom desempenho e a produtividade do açaizeiro em terra firme no Cerrado do Amapá?

O plantio de açaizeiro, em áreas de terra firme, pode contribuir significativamente para a redução da pressão sobre o ecossistema de várzea, além de representar excelente alternativa para a recuperação de áreas degradadas e uso em áreas de proteção permanente, contribuindo

para a conservação do solo, geração de renda, e a valorização da cultura da região norte.

O Cerrado do Amapá apresenta características edafoclimáticas distintas das regiões de várzea tradicionalmente utilizadas para o cultivo do açaí. Solos ácidos, com baixa capacidade de retenção de nutrientes e baixa fertilidade natural, são alguns dos entraves para o desenvolvimento da agricultura familiar no estado do Amapá, diante dessas circunstâncias, o açazeiro exige práticas de adubação e correção bem planejadas para possibilitar o bom desenvolvimento dessa cultura (Faria *et al.*, 2025). A adubação com nitrogênio, fósforo e potássio em diferentes níveis, pode influenciar de maneira diferenciada a produtividade de frutos de açaí, a altura das plantas e o diâmetro à altura do peito das plantas de açaí. Assim como, comparar a influência do local adequado para a coleta de solo no cultivo de açazeiro no Cerrado do Amapá, analisando a produtividade quanto ao benefício custo econômico com uso da adubação.

Segundo Fageria *et al.* (2011), a produtividade agrícola em solos de Cerrado depende de estratégias de manejo que garantam suprimento adequado de nutrientes, especialmente em sistemas com culturas perenes como o açazeiro. Além disso, Homma (2014) destaca que o sucesso do cultivo do açaí em novas áreas está diretamente relacionado à adaptação do manejo às condições locais. Dessa forma, esta pesquisa se justifica pela necessidade de gerar informações técnicas que orientem o manejo nutricional do açazeiro no Cerrado do Amapá, visto que não existem recomendações específicas para a cultura do açaí no estado do Amapá, contribuindo com a sustentabilidade da produção, o aumento da produtividade em períodos de safra e entressafra e com o fortalecimento da agricultura familiar.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Avaliar a produtividade de açaizeiro irrigado (*Euterpe oleracea*) e os atributos químicos do solo em resposta à adubação mineral com nitrogênio, fósforo e potássio, estabelecido há nove anos no Cerrado no Município de Macapá - AP.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Comparar a influência dos locais de amostragem, em cultivo de açaizeiro nos atributos químicos do solo (acidez ativa, teores de Ca+Mg e P);
- Avaliar a influência dos níveis de adubação nitrogenada, fosfatada e potássica na produtividade de frutos de açaí, altura de planta e diâmetro a altura do peito;
- Analisar o custo-benefício econômico do uso de fertilizantes minerais para a produção de açaí no Cerrado do Amapá.

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 Características gerais do gênero *Euterpe*

A espécie *Euterpe oleracea* Mart, integra o grupo das monocotiledôneas da Ordem Arecales, sendo classificada na família Arecaceae (anteriormente Palmae) e subfamília Arecoideae. Esta palmeira, comumente denominado açazeiro, destaca-se como a representante de maior relevância econômica e ecológica dentro do gênero *Euterpe*, especialmente nas regiões tropicais úmidas da América do Sul, a atual classificação taxonômica da espécie segue os critérios estabelecidos pelo sistema Angiosperm Phylogeny Group (APG IV, 2016), amplamente reconhecido na botânica moderna. Do ponto de vista morfológico, o açazeiro apresenta hábito cespitoso, formando touceiras com múltiplos estipes, comumente em número de 4 a 25 por planta. Tais estipes variam entre 3 a 20 metros de altura, podendo atingir diâmetros que oscilam de 7 a 18 centímetros na fase adulta (Carvalho, 2022). Essa conformação permite à planta uma capacidade adaptativa significativa, tanto em ambientes úmidos como em solos de terra firme, desde que haja disponibilidade hídrica adequada.

De acordo com Lorenzi *et al.* (2004), as folhas do açazeiro são compostas e pinadas, organizadas em espiral, com 40 a 80 pares de folíolos, característica típica das palmeiras do gênero *Euterpe*. Este arranjo promove alta eficiência na captação de luz solar, favorecendo o processo fotossintético e contribuindo para a produtividade da planta em ecossistemas tropicais densamente sombreados. A espécie apresenta sistema radicular fasciculado, predominantemente superficial, característica que implica em sensibilidade à deficiência hídrica e à escassez de nutrientes na camada superior do solo (Tavares, 2017). Em virtude disso, práticas de manejo adequadas, incluindo adubação equilibrada e irrigação suplementar, tornam-se essenciais, sobretudo em áreas com solos distróficos ou com baixa capacidade de retenção de umidade, como ocorre no Cerrado amapaense (Souza *et al.*, 2016).

O ciclo de vida da planta é perene e sua entrada em produção ocorre, geralmente, entre o segundo e o quinto ano após o plantio, sendo influenciada diretamente pelas condições edafoclimáticas e pelas técnicas de cultivo adotadas (De Oliveira; De farias neto; Da Silva Pena, 2007). As flores são unissexuais e dispostas em tríades (a feminina ladeada por dois masculinos) ao longo das inflorescências (Henderson; Galeano, 1996). Segundo Venturieri (2015), a reprodução do açazeiro depende da polinização cruzada, sendo as abelhas os principais polinizadores potenciais por apresentarem características favoráveis, como quantidade de pêlos ventrais e comportamento de coleta de néctar.

### 3.2 Condições Climáticas e de Fertilidade

A espécie *Euterpe oleracea* apresenta elevada adaptação a ambientes tropicais úmidos, com preferência por temperaturas médias anuais superiores a 26 °C, umidade relativa variando entre 70% e 90% e precipitação pluviométrica anual acima de 1.600 mm (Gama *et al.*, 2011). A espécie desenvolve-se bem em vários tipos de solos, sendo encontrada em terras firmes e áreas inundáveis, porém não suporta locais permanentemente alagados (Viégas *et al.*, 2004). Tem-se conhecimento de que, no Estado do Pará, a maioria dos plantios comerciais de açaizeiros são realizados em solos de terra firme, onde na região predominam os Latossolos Amarelos de baixa fertilidade natural, tornando-se evidente que, para se obter alta produtividade, há necessidade de fornecer nutrientes, através da adubação (Viégas *et al.*, 2004).

As necessidades nutricionais exigidas por palmeiras em geral são elevadas, tanto na fase de crescimento vegetativo quanto na fase reprodutiva (Bovi; Cantarella, 1996; Secretaria; Maravilla, 1997). A resposta das culturas à aplicação de fertilizantes depende de uma série de processos fisiológicos e edáficos, entre os quais se destacam a absorção, o transporte e a assimilação dos nutrientes disponíveis no solo. Esses mecanismos são influenciados tanto pelas características genéticas das plantas quanto pelas condições ambientais, especialmente pela disponibilidade hídrica, que regula o fluxo de nutrientes em direção às raízes e sua posterior translocação nos tecidos vegetais (Malavolta, 2006). Conforme discutido por Batista *et al.* (2018), o manejo correto da fertilidade do solo, no que diz respeito aos atributos físicos, químicos e biológicos do solo são essenciais para otimizar a eficiência da adubação e garantir que as plantas utilizem adequadamente os nutrientes aplicados.

O suprimento inadequado de nutrientes, tanto por excesso, quanto por insuficiência, pode provocar restrições ao crescimento das plantas, causar alterações nas relações entre biomassa aérea e radicular, assim como promover alterações entre estádios vegetativos e reprodutivos (Baligar; Fageria, 1997; Marschner, 1998). A fertilização adequada de plantas perenes, especialmente palmeiras, promove maior crescimento inicial e antecipação do estágio reprodutivo (Bonneau *et al.*, 1993; Mora-Urpí *et al.*, 1997; Bovi, 1998).

A adubação de açaizeiros ainda ocorre com base em recomendações para outras culturas, pois os estudos sobre nutrição e adubação especificamente do açaizeiro ainda são incipientes. Existem estudos apenas relacionados a nutrição dos açaizeiros nos estágios iniciais de crescimento, não havendo disponibilidade de resultados consistentes que permitam

avaliar o estado nutricional das plantas com precisão e, principalmente, estabelecer recomendações de adubação (Oliveira *et al.*, 2002; Veloso *et al.*, 2010; Mesquita, 2011)

### **3.3 Inserção de açazeiro de área de várzea para terra firme**

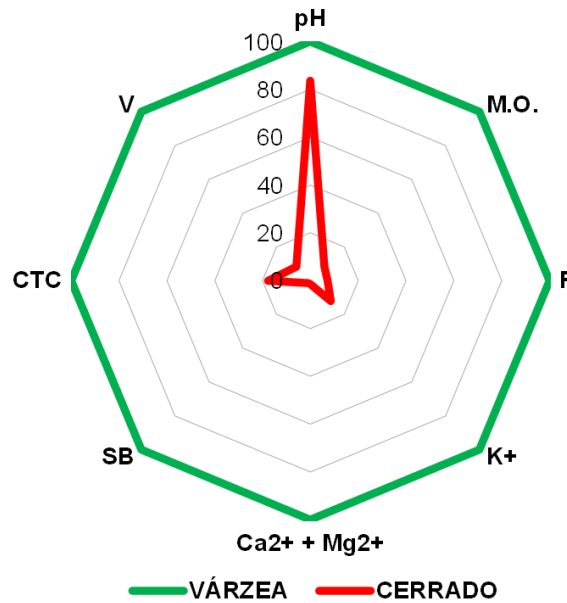
A grande procura por frutos do açaí, vem ocasionando o estabelecimento de plantios em terra firme, porém esses cultivos muitas vezes são baseados em informações empíricas e diversificadas o que não garante uma produtividade adequada pela não utilização das técnicas de cultivo apropriadas. (Melém Júnior, *et al.*, 2025). Os estudos relativos ao cultivo de açazeiro em terra firme iniciaram após essa crescente demanda, e ainda não existem muitas informações científicas disponíveis, deste modo os resultados do presente trabalho darão importante contribuição nos aspectos relativos à nutrição e adubação dessa importante cultura em terra firme.

Nesse contexto, visando à definição da fertilização adequada para o cultivo do açazeiro, os experimentos fatoriais representam uma opção para tal finalidade, pois apresentam eficácia para avaliar ao mesmo tempo, os efeitos de dois ou mais tipos de fatores (Silva, 2007; Porto, 2014) possibilitando a avaliação de diferentes combinações de adubos em tratamentos (Vaz, 2013), tornando-se possível através deste a determinação da adubação adequada para o açazeiro, avaliar a sua eficiência nutricional nas plantas de açazeiro de terra firme e conseqüentemente a sua maior produtividade.

As populações nativas de açaí ocorrem naturalmente nas margens dos rios amazônicos, onde predominam os Gleissolos, solos minerais, de média a alta fertilidade, pouco desenvolvidos e hidromórficos, formados a partir de sedimentos aluviais e localizados principalmente em áreas de várzeas, que tem como principal característica a gleização, processo químico de redução do ferro devido ao excesso de água (condições anaeróbicas), o que lhes confere cores acinzentadas, como informado pelo Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) do Amapá (Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas do Estado do Amapá, 2023). Por outro lado, ainda de acordo com o ZEE do Amapá, os Latossolos Amarelos são classificados como fortemente intemperizados (muito desgastados pela ação do tempo e do clima), tendo boas características físicas, mas baixa fertilidade natural, o que implica na necessidade do uso de corretivos e fertilizantes no seu manejo. Sua principal característica é a presença do horizonte B latossólico (Bw), que indica um estágio avançado de desenvolvimento. Esse solo ocorre em ambientes de floresta ou cerrado no estado. A figura 1 apresenta uma comparação entre a

fertilidade dos solos de várzea aqui considerada como padrão, de onde o açaí se origina, em relação a fertilidade dos solos de Cerrado, local de expansão dessa importante cultura, destacando-se a necessidade de correção e adubação para o desenvolvimento adequado da cultura e a consequente maior produtividade de frutos.

**Figura 1-** Fertigrama comparativo entre a fertilidade do solo de várzea (Gleissolo) com o solo de terra firme (Latossolo Amarelo)



Fonte: Autora (2025)

### 3.4 Acidez do solo e formas de acidificação

Nas regiões tropicais úmidas sabe-se que os fatores que causam acidez são, principalmente, a pluviosidade e a distribuição pluviométrica (lixiviação de bases e adição de íons hidrogênio), a extração de bases pelas culturas, as trocas iônicas na região da rizosfera, o uso de fertilizantes nitrogenados com índice de acidez elevado, além de fatores da própria formação do solo como material de origem, clima, organismos, relevo e tempo (Lima *et al.*, 2007). Além disso, solos muito antigos e intemperizados têm muitos óxidos de ferro e alumínio, que liberam hidrogênio e alumínio para a solução do solo, contribuindo ainda mais para a acidez, como ocorre nos solos do Cerrado Amapaense.

Assim, a combinação entre chuvas intensas que retiram nutrientes e a pouca capacidade natural de reposição faz com que a acidez seja uma característica comum e marcante nos solos tropicais de acordo com Vitti; Prochnow (1996) e por diversos estudos de

ciência do solo como o de Malavolta (2006), que afirma que os solos tropicais tendem a apresentar elevada acidez devido ao avanço do intemperismo, à lixiviação de bases em regiões de alta pluviosidade e à predominância de minerais pobres em nutrientes, o que reduz a capacidade natural de reposição de cátions como  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^+$ .

A acidez do solo afeta muitas propriedades físicas, reações químicas e processos biológicos dentro do solo, o que controla a disponibilidade de nutrientes, a toxicidade dos elementos metálicos e as funções metabólicas de plantas, microrganismos e fauna do solo (Hartemink e Barrow 2023). Em condições naturais, a acidificação do solo é um processo lento, mas atividades humanas como aplicação extensiva de fertilizantes, deposição de ácidos e agricultura intensiva aceleraram o processo de acidificação do solo (Fujii *et al.* 2024; Li *et al.* 2024; Zhao *et al.* 2023).

A exploração do solo por culturas de alta produtividade exige o emprego de quantidades elevadas de fertilizantes, dentre os quais os nitrogenados se destacam por fornecerem um dos nutrientes mais exigidos pelos vegetais. Os fertilizantes nitrogenados, entretanto, dependendo da sua composição química, podem reagir com o solo da acidez até a alcalinidade (Quevedo Camacho (1995). A capacidade de acidificação de um fertilizante nitrogenado é representada pelo índice de acidez (quantidade de  $\text{CaCO}_3$  necessária para neutralizar a acidez originada pelo uso de 100 kg do fertilizante), para o sulfato de amônio o índice de acidez é 110, enquanto para o nitrato de amônio o índice é de 62 (Vitti; Prochnow, 1996).

### **3.5 Dinâmica do fósforo no solo**

O fósforo constitui um dos nutrientes mais limitantes nos solos altamente intemperizados, como os Latossolos predominantes na Amazônia e no Cerrado do Amapá, devido à sua forte interação com óxidos de ferro e alumínio, que promovem intensa fixação e reduzem sua disponibilidade para as plantas (Marschner 2012; Aquino *et al.*, 2012; Novais; Smyth; Nunes, 2007). Nesses ambientes, mesmo quando se realiza a adubação fosfatada, grande parte do fertilizante aplicado torna-se rapidamente indisponível, exigindo manejos mais eficientes para garantir o desenvolvimento adequado das culturas. Dentro dessa dinâmica, destaca-se a fração lábil do fósforo, considerada a parcela mais prontamente disponível para absorção, composta por formas fracamente adsorvidas aos colóides, fósforo solúvel na solução do solo e porções liberadas rapidamente pela mineralização da matéria orgânica. Essa fração

estabelece um equilíbrio dinâmico com a solução do solo, de modo que, à medida que as plantas absorvem o nutriente, o P lábil se desloca para repor essa demanda, sendo, portanto, fundamental no suprimento imediato às culturas (Novais, 1999).

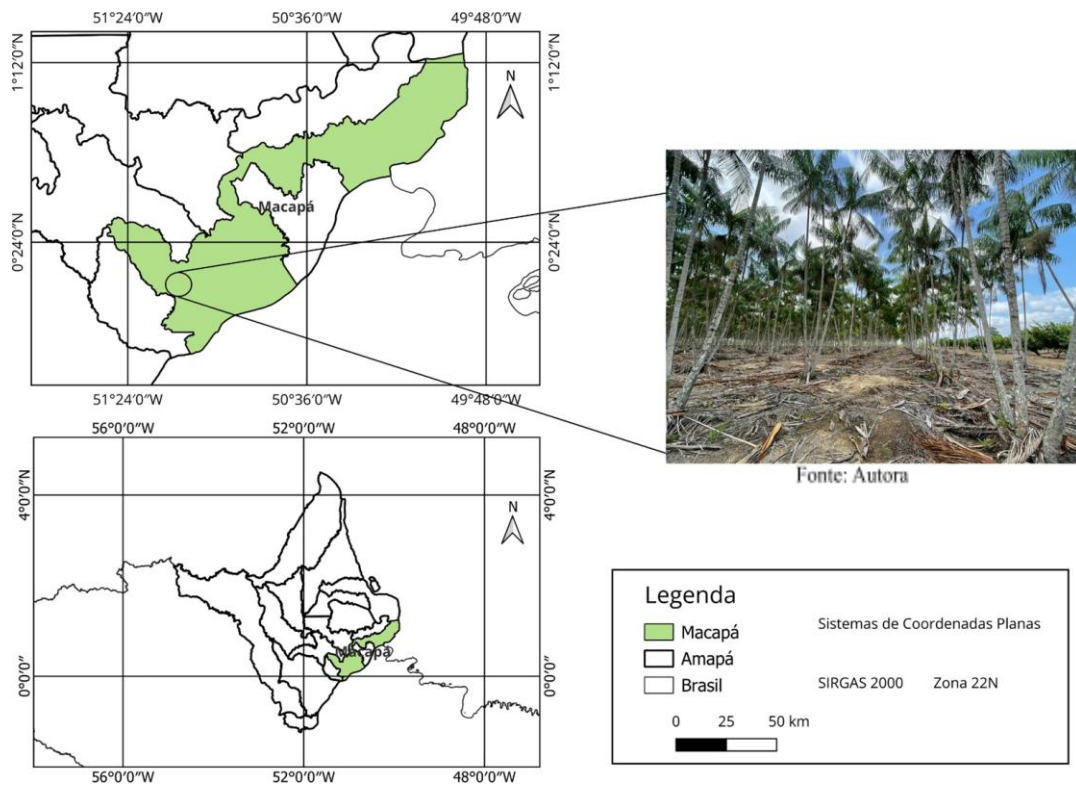
O fósforo não lábil corresponde às formas fortemente adsorvidas ou precipitadas com óxidos de Fe e Al, apresentando baixa liberação e reduzida contribuição imediata ao crescimento vegetal. Em solos tropicais, a fração lábil é naturalmente baixa devido à elevada acidez e à presença de minerais como hematita e gibbsita, que intensificam a fixação do nutriente, conforme demonstrado por estudos de cinética de adsorção em óxidos de ferro e alumínio (FINK *et al.*, 2012). A mineralização microbiana contribui parcialmente para a reposição do P lábil ao converter formas orgânicas em fosfatos disponíveis (Richardson; Simpson, 2011). No cultivo do açaizeiro (*Euterpe oleracea*) em terra firme, essa limitação é relevante, pois o fósforo é essencial ao desenvolvimento radicular e ao crescimento inicial das plantas. Assim, práticas como calagem, uso de fontes fosfatadas mais solúveis e incremento da matéria orgânica são fundamentais para aumentar a disponibilidade desse nutriente e melhorar a eficiência da adubação, favorecendo o desempenho da cultura em solos amazônicos (Cordeiro, 2011).

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 Local de Estudo

O estudo foi realizado em um ambiente de Cerrado localizado no Campo Experimental do Cerrado da Embrapa Amapá no Km 43 da BR-210 no município de Macapá, capital do estado, sob as coordenadas: 00°22'59,0" N e 51°03'41,2" W (Figura 2). O clima do local é do tipo Ami segundo a classificação de Köppen. Por sua vez, o solo do local é classificado como Latossolo Amarelo distrófico de textura franco-arenosa. A calagem foi realizada em 2015, 20 dias antes do plantio. Após a calagem com 2 ton/ha de calcário dolomítico, o solo apresentou as seguintes propriedades químicas: pH 5,2; P = 1 mg/dm<sup>3</sup>; K = 0,02 cmolc/dm<sup>3</sup>; Ca+Mg = 1,83 cmolc/dm<sup>3</sup>; CTC pH7 = 3,68 cmolc/dm<sup>3</sup>; Saturação por bases = 49,66 %. Foi instalado sistemas de microaspersão para realizar a irrigação complementar na época de déficit de umidade no solo.

**Figura 2-** Mapa de localização do local de estudo



Fonte: Autora (2025)

## 4.2 Delineamento Experimental

O experimento foi composto por uma área útil de 0,57 ha, se adotando o delineamento de blocos ao acaso em arranjo de tratamentos fatorial fracionado  $(\frac{1}{2})4^3$  (Andrade; Noletto, 1986) no qual foi avaliada a influência de três fertilizantes (fatores) na adubação das plantas, que foram: N,  $P_2O_5$  e  $K_2O$ , utilizando quatro níveis de cada fator (0, 74, 148 e 222 g/planta de N; 0, 82, 164 e 246 g/planta de  $P_2O_5$  e 0, 152, 304 e 456 g/planta de  $K_2O$ ) (Apêndice A). O experimento continha 32 tratamentos com 6 (seis) plantas por tratamento, resultando em 192 plantas mensuráveis de açaizeiro, utilizou-se espaçamentos de 5 m entre plantas e 6 m entre linhas, em cada cova foram plantadas duas mudas de açaizeiro (Apêndice B). A determinação das doses seguiu as orientações constantes no Manual de Recomendações de Adubação e Calagem para o estado do Pará (Cravo; Viégas; Brasil, 2007).

A tabela 1 apresenta as doses de fertilizantes aplicadas por touceira em cada nível de adubação utilizado no ano de 2024, incluindo as doses de nitrogênio (N), sulfato de amônio, fósforo disponível ( $P_2O_5$ ) proveniente do superfosfato simples e potássio ( $K_2O$ ) oriundo do cloreto de potássio. Os quatro níveis avaliados variam desde a ausência total de adubação (nível 0) até o nível máximo (nível 3).

**Tabela 1** - Níveis de adubação, formas elementares e fertilizantes utilizados

Níveis	N	Sulfato De Amônio (20% de N + 12% de S)	$P_2O_5$	Superfosfato Simples (18% de $P_2O_5$ + 16% de Ca + 10% de S)	$K_2O$	Cloreto De Potássio (60% de $K_2O$ )
g/touceira						
0	0	0	0	0	0	0
1	74	370	82	456	152	254
2	148	740	164	912	304	508
3	222	1.110	246	1.368	456	762

Fonte: Autora (2025)

O superfosfato simples utilizado foi composto por 18% de  $P_2O_5$ , 16% de cálcio e 10% de enxofre, foi aplicado em dose única no mês de janeiro de 2024, seguindo a prática

recomendada para fertilizantes fosfatados, que apresentam baixa mobilidade no solo e maior eficiência quando incorporados no início do ciclo. Já o sulfato de amônio, contendo 20% de nitrogênio e 12% de enxofre, e o cloreto de potássio, com 60% de  $K_2O$ , foram aplicados de maneira parcelada, com cinco aplicações distribuídas ao longo dos meses de janeiro, março, maio, julho e setembro de 2024. O parcelamento das fontes nitrogenada e potássica visa reduzir as perdas por lixiviação e disponibilizar os nutrientes de forma gradual, acompanhando as necessidades nutricionais da planta durante todo o ciclo produtivo.

### **4.3 Manejo e Coleta de Dados**

A coleta de dados vegetativos foi realizada semestralmente, sendo avaliadas variáveis de crescimento e produtividade das plantas como: Altura das plantas medida a partir do solo até o ponto de inserção da folha mais alta, utilizando-se uma trena adaptada a uma vara de madeira, e diâmetro à altura do peito, medindo-se a circunferência de cada planta com uma fita métrica na altura de 1,3 m, e dividindo-se o valor pela constante  $\pi$ , obtendo-se o valor do diâmetro, além da produtividade de frutos de açaí que foi avaliada no período de maturação dos frutos durante a safra. Essa avaliação da produtividade envolveu a pesagem do cacho inteiro, a debulha do açaí e a pesagem da ráquila obtendo-se por diferença a quantidade de frutos produzidos por planta em quilograma, sendo posteriormente estimada a produtividade anual por hectare.

Para avaliar o local de amostragem mais adequado para coleta de solo em açazeiro irrigado, foram realizadas coletas de solos nas profundidades de 0-20 cm com três repetições por parcela compostas por três sub-amostras. As amostras de solo foram coletadas na projeção da copa (PC), próximo a touceira e na entre linha de plantio (EP), sendo posteriormente preparada em laboratório uma amostra mista (AM) utilizando 50% da amostra da projeção da copa e 50% da amostra da entre linha.

### **4.4 Análises realizadas**

Foram analisados os seguintes atributos de fertilidade do solo: pH em água, matéria orgânica, teores de fósforo disponível, cálcio, magnésio, potássio e alumínio trocáveis, além da soma de bases, capacidade de troca catiônica, saturação por bases e saturação por alumínio (Silva, 2009), essas análises foram realizadas no Laboratório de Solos e Fisiologia Vegetal da Embrapa Amapá.

Todos os dados foram submetidos à análise de variância para verificação das

diferenças significativas e posterior análise de regressão linear e teste de comparação de médias, no software SISVAR (Ferreira, 2011) para determinação do efeito das doses de fertilizantes minerais e locais de amostragem de solo, nas variáveis estudadas.

Também foi realizada uma análise econômica considerando os custos totais de produção e a produtividade de frutos de açaí em função das adubações minerais, o preço de venda dos frutos e a relação benefício/custo (Gittinger, 1984)

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram estudados os atributos químicos do solo relativo a acidez ativa do solo, os teores de  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$  trocáveis e o teor de P disponível em função das adubações nitrogenada e fosfatada comparando seus efeitos em relação aos locais de amostragem de solo. Para outros atributos químicos do solo, tais como, teores de matéria orgânica, alumínio, potássio trocáveis e acidez potencial, não apresentaram diferenças significativas ou tiveram problemas analíticos, não sendo apresentados no presente estudo.

### 5.1 Efeitos da adubação mineral nos atributos químicos do solo

#### 5.1.1 Acidez ativa (pH do solo) sob adubação nitrogenada

A acidez ativa do solo, representada pelo pH, apresentou variações consistentes em função da interação entre os locais de amostragem e as doses de nitrogênio aplicadas. Na Tabela 2 é possível observar que, independentemente da dose utilizada, as amostras da Entre Linha (EL) mantiveram os maiores valores de pH, enquanto as da Projeção da Copa (PC) e a Amostra Mista (AM) apresentaram valores inferiores. Esse comportamento indica que o efeito acidificante proporcionado pela adubação nitrogenada ocorreu de maneira mais intensa nas áreas mais próximas ao ponto de aplicação do fertilizante, uma vez que tanto a amostra coletada na projeção da copa quanto a amostra mista estão diretamente associadas às zonas de adubação, diferentemente da amostra coletada na entre linha.

**Tabela 2** - Acidez ativa do solo em função dos locais de amostragens e das doses de adubação nitrogenada

Locais de amostragem do solo	Doses de N (g touceira <sup>-1</sup> )			
	0	74	148	222
	pH do solo			
Projeção da Copa (PC)	5,4 a	5,1 b	4,9 b	4,7 b
Amostra Mista (AM)	5,1 b	5,0 b	4,9 b	4,7 b
Entre Linha (EL)	5,5 a	5,5 a	5,4 a	5,3 a

Médias seguidas da mesma letra em cada dose (colunas), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; DMS = 0,13794

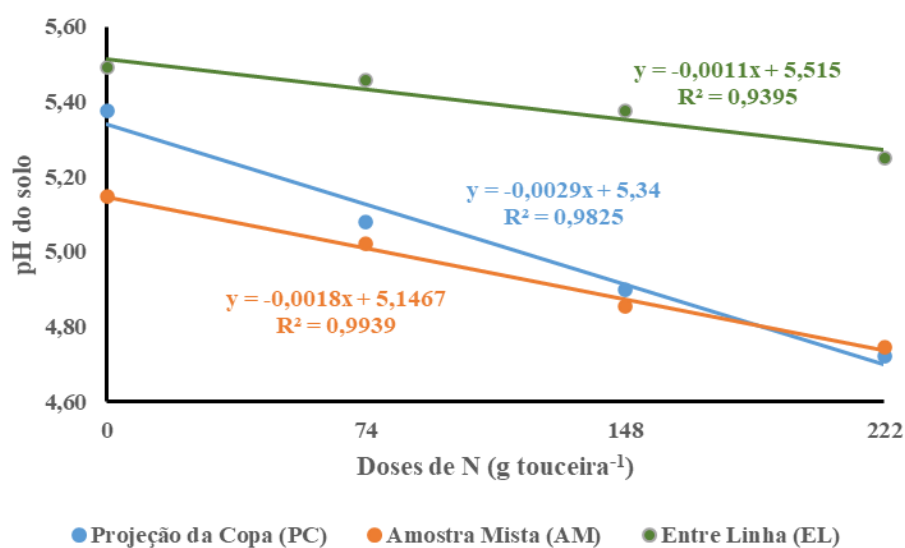
Fonte: Autora (2025)

O teste de comparação de médias (Tukey) demonstrou que o pH na entre linha foi

significativamente superior ( $p < 0,05$ ) às demais posições em todas as doses avaliadas, enquanto o pH na projeção da copa e amostra média não apresentaram diferenças significativas entre si, evidenciando que ambos os locais responderam de forma semelhante ao incremento das doses de nitrogênio. A diferença entre os locais de coleta reforça que a acidez é influenciada pela proximidade da adubação nitrogenada com sulfato de amônio, uma vez que o amônio aplicado sofre nitrificação, processo que libera íons  $H^+$  e reduz o pH do solo (Camargo & Alleoni, 1997; Novais *et al.*, 2007; Lima, 2024). Na ausência da adubação, o pH variou de 5,1 a 5,5 entre as posições avaliadas, caracterizando um solo naturalmente moderadamente ácido, condizente com as condições químicas predominantes na região. Contudo, com a aplicação da maior dose ( $222 \text{ g touceira}^{-1}$ ), o pH reduziu para aproximadamente 4,7 nas amostras da projeção da copa e amostra mista, enquanto a entre linha manteve valores próximos de 5,3, o que evidencia que a acidificação foi concentrada na zona de adubação e não ocorreu de forma homogênea na área, fato também relatado por Yamada *et al.* (2007) para sistemas perenes adubados com fontes amoniacais e estudos apresentados por Santos (2022) sobre o efeito de uso fertilizantes nitrogenados em pastagens.

A Figura 3 apresenta regressões lineares com elevados coeficientes de determinação ( $R^2$  entre 0,98 e 0,99), indicando forte relação entre o aumento das doses de nitrogênio e a queda no pH do solo.

**Figura 3** - Acidez ativa do solo em função dos locais de amostragens e das doses de adubação nitrogenada.



Fonte: Autora (2025)

Tal comportamento está diretamente relacionado ao histórico de manejo da área. Desde o ano de implantação do experimento, em 2015, utiliza-se sulfato de amônio como fonte de nitrogênio, fertilizante reconhecido por seu elevado potencial de acidificação. Em 2024, ano da coleta de dados, as doses de sulfato de amônio aplicadas corresponderam a 0, 370, 740 e 1.110 g touceira<sup>-1</sup>, o que contribuiu para a elevação da acidez ativa ao longo dos anos. Esse histórico ajuda a explicar a redução expressiva do pH na projeção da copa, que passou de valores próximos de 5,3 na dose zero para cerca de 4,7 na dose máxima, comportamento também refletido na amostra mista.

A acidificação progressiva sob a projeção da copa é amplamente documentada em estudos com culturas perenes de palmeiras estabelecidas em Latossolos, como o dendezeiro (*Elaeis guineensis*), onde a aplicação contínua de fertilizantes amoniacais resulta em acidificação progressiva e lixiviação de cátions (Almeida *et al.*, 2018). O mesmo princípio é válido para o manejo do coqueiro (*Cocos nucifera*), cujos manuais alertam frequentemente para a necessidade de monitoramento do pH (Malhotra *et al.*, 2017). Dessa forma, os resultados obtidos evidenciam que o aumento da adubação nitrogenada com base amoniacal promoveu significativa acidificação do solo, especialmente nas zonas mais próximas de aplicação.

### **5.1.2 Cálcio e magnésio trocáveis**

#### **5.1.2.1 Teores de $Ca^{2+}$ + $Mg^{2+}$ sob adubação nitrogenada**

A Tabela 3 apresenta os teores de  $Ca^{2+}$  +  $Mg^{2+}$  do solo em função da interação entre as doses de nitrogênio (0, 74, 148 e 222 g touceira<sup>-1</sup>) e os três locais de amostragem: Projeção da Copa (PC), Amostra Mista (AM) e Entre Linha (EL). Observa-se que a aplicação de nitrogênio influenciou de forma significativa somente na maior dose de aplicação de N, evidenciando que o efeito acidificante do fertilizante, com a conseqüente redução de bases trocáveis é mais intenso no ponto de maior concentração de insumo.

**Tabela 3** - Teores de  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$  em função dos locais de amostragens e das doses de adubação nitrogenada

Locais de amostragem do solo	Doses de N (g touceira <sup>-1</sup> )			
	0	74	148	222
	<b><math>\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}</math> (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>)</b>			
<b>Projeção da Copa (PC)</b>	1,18 a	1,08 a	0,96 a	0,74 b
<b>Amostra Mista (AM)</b>	1,19 a	1,17 a	1,09 a	1,09 a
<b>Entre Linha (EL)</b>	1,05 a	1,19 a	1,04 a	1,06 a

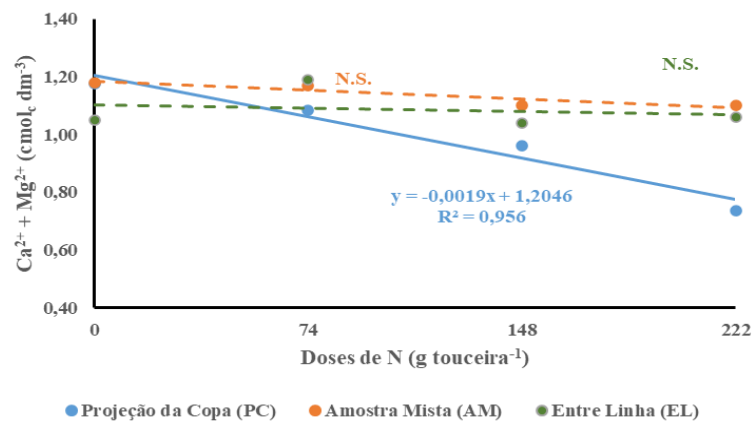
Médias seguidas da mesma letra em cada dose (colunas), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; DMS = 0,183729

Fonte: Autora (2025)

Na projeção da copa, área onde ocorre a deposição direta da adubação, nota-se uma redução progressiva dos teores de  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$  conforme aumentam as doses de N, partindo de 1,18 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> na ausência de adubação para 0,74 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> na maior dose.

Esses resultados podem ser visualizados na Figura 4, que mostra a regressão linear ajustada aos valores da projeção da copa. A equação  $y = -0,0019x + 1,2046$ , com  $R^2 = 0,956$ , indica forte relação negativa entre a adubação nitrogenada e a redução de  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ , explicando grande parte da variação observada no ponto de maior exposição ao fertilizante. Ou seja, o valor de  $R^2$  evidencia que a maior parte da variação observada é explicada pelo incremento do nitrogênio, reforçando que a adubação nitrogenada promoveu redução expressiva dos cátions básicos na área de aplicação direta.

**Figura 4** - Regressão linear dos teores de  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$  em função dos locais de amostragens e das doses de adubação nitrogenada



Fonte: Autora (2025)

A queda nos teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  pode ser explicada pela acidificação promovida pela adubação nitrogenada, sobretudo quando o nitrogênio é aplicado em formas amoniacais. Durante o processo de nitrificação do amônio ( $\text{NH}_4^+$ ), há liberação de íons  $\text{H}^+$ , que passam a competir pelos sítios de troca e deslocam cátions básicos como  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , reduzindo seus teores no solo. Essa dinâmica é amplamente documentada na literatura como de Van Miegroet; e Cole (1984) que demonstraram que a nitrificação intensifica a acidificação do solo e provoca declínio significativo da saturação por bases, resultado de perdas de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  por deslocamento e lixiviação. Da mesma forma, estudos em ecossistemas tropicais mostram que adições contínuas de nitrogênio elevam a acidez do solo e aceleram a depleção de cátions básicos, como observado por Lu *et al.* (2014).

Outro fator importante é a suscetibilidade natural dos solos tropicais altamente intemperizados à acidificação. Solos dessas regiões são ricos em óxidos de ferro e alumínio e com predominância de cargas variáveis, logo, apresentam baixa saturação por bases, o que os torna mais sensíveis à perda de cátions básicos quando submetidos à entrada de  $\text{H}^+$  no sistema. A literatura reforça esse comportamento: análises integradas em sistemas agrícolas tropicais mostram que o aumento da acidez causada por fertilizantes nitrogenados está diretamente associado à redução de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  trocáveis e ao aumento da mobilidade do  $\text{NO}_3^-$ , levando à lixiviação desses nutrientes (Fang *et al.*, 2023; Li *et al.*, 2024; Wang *et al.*, 2025). Assim, a interação entre a acidificação induzida pelo N e as características intrínsecas dos solos tropicais explica a redução observada de  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ , especialmente mais evidente na área de aplicação direta na projeção da copa onde os efeitos do fertilizante são mais intensos.

#### **5.1.2.2 Teores de $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ sob adubação fosfatada**

A Tabela 4 apresenta os teores de  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$  trocáveis do solo em função das doses de  $\text{P}_2\text{O}_5$  (0, 82, 164 e 246 g touceira<sup>-1</sup>) nos três locais de amostragem: PC, AM e EL. De modo geral, observa-se que a adubação fosfatada não promove variações expressivas nos teores desses cátions, resultando em respostas menos acentuadas que as observadas para a adubação nitrogenada. A pequena oscilação, quando não foi aplicado fertilizante fosfatado, sugere efeito mais associado à variabilidade natural do solo do que ao fertilizante.

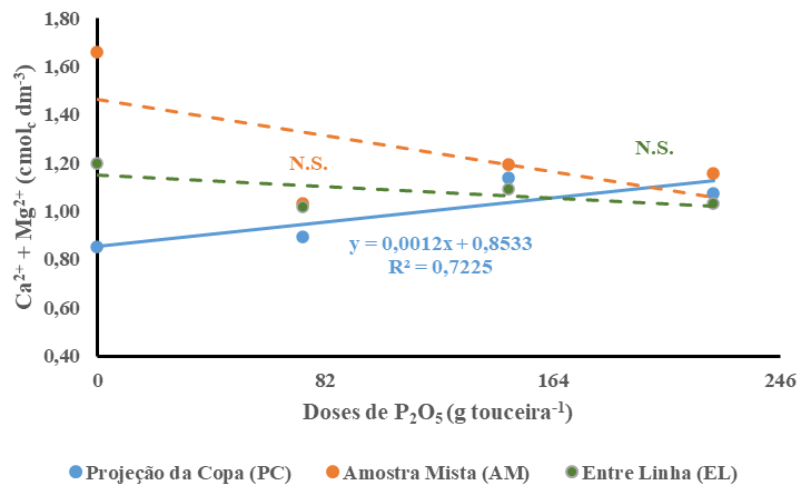
**Tabela 4.** Teores de  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$  em função dos locais de amostragens e das doses de adubação fosfatada

Locais de amostragem do solo	Doses de $\text{P}_2\text{O}_5$ (g touceira <sup>-1</sup> )			
	0	82	164	246
	<b><math>\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}</math> (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>)</b>			
<b>Projeção da Copa (PC)</b>	0,85 b	0,89 a	1,14 a	1,08 a
<b>Amostra Mista (AM)</b>	1,17 a	1,03 a	1,19 a	1,16 a
<b>Entre Linha (EL)</b>	1,20 a	1,02 a	1,08 a	1,03 a

Médias seguidas da mesma letra em cada dose (colunas), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; DMS = 0,183729

Fonte: Autora (2025)

A Figura 5 apresenta a regressão linear ajustada para a projeção da copa. A equação  $y = 0,0012x + 0,8533$ , com  $R^2 = 0,7225$ , mostra que o ajuste estatístico é apenas moderado, indicando uma leve tendência de aumento dos teores de cálcio e magnésio em função das doses de fósforo. O comportamento quase horizontal das curvas dos teores de  $\text{Ca} + \text{Mg}$  na amostra mista e na entre linha, ambas marcadas como não significativas (N.S.), reforça que a adubação fosfatada não alterou de forma relevante os cátions básicos avaliados.

**Figura 5** - Regressão linear dos teores de  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$  em função dos locais de amostragens e das doses de adubação fosfatada

Fonte: Autora (2025)

A ausência de efeito da adubação fosfatada sobre os teores de  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$  está de acordo com o comportamento químico do fósforo nos solos tropicais. Diferentemente das fontes amoniacais de nitrogênio, que liberam  $\text{H}^+$  durante o processo de nitrificação e promovem acidificação do solo, o fósforo não gera íons ácidos. Após a aplicação, o mesmo tende a ser

rapidamente ligados por óxidos de Fe e Al, característica típica de solos altamente intemperizados, como apontam Sousa e Lobato (2004), a aplicação de P em solos tropicais não altera o pH nem desloca bases trocáveis, pois sua reação ocorre predominantemente por fixação superficial, sem envolver mecanismos de troca iônica capazes de afetar  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ .

No gênero *Euterpe*, é comum que as espécies apresentem maior demanda por fósforo nos estádios iniciais de desenvolvimento (Viégas *et al.*, 2023). Contudo, após a formação do estipe e início da produção, as palmeiras tornam-se relativamente eficientes na absorção do nutriente mesmo em solos com baixa disponibilidade (De Oliveira *et al.*, 2007). Essa característica fisiológica reduz a possibilidade de que a adubação fosfatada provoque alterações expressivas nos teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  no solo, uma vez que o fósforo aplicado não interage diretamente com o complexo de troca e não desencadeia mecanismos de acidificação ou competição iônica (Fageria, 2009).

Estudos mostram que a eficiência de utilização de nutrientes em mudas de *Euterpe oleracea* está diretamente relacionada à arquitetura do seu sistema radicular e às condições nutricionais do solo, sendo que a disponibilidade de fósforo e outros macronutrientes influencia diretamente o crescimento e a absorção de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  pela planta (Moreira *et al.*, 2016). Por isso, não se observam reduções significativas dos cátions básicos entre os diferentes locais de amostragem (projeção da copa, amostra mista e entrelinha), conforme apresentado na Tabela 4.

De acordo com Zhang *et al.* (2021) e Lu *et al.* (2024), a adubação fosfatada raramente provoca alterações relevantes na composição do complexo sortivo em curto prazo, exceto quando associada a grandes doses de corretivos ou à interação com altos teores de matéria orgânica. Portanto, os resultados obtidos no presente estudo confirmam que o fósforo não interfere na disponibilidade de  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ , e que as variações observadas se mantêm dentro da amplitude natural dos solos tropicais.

### **5.1.3 Teores de fósforo disponível no solo sob adubação fosfatada**

A Tabela 5 apresenta os teores de P disponível nos diferentes locais de amostragem, projeção da copa, entre linha e amostra mista em interação com as doses de  $\text{P}_2\text{O}_5$  aplicadas. Verifica-se que para as menores doses de  $\text{P}_2\text{O}_5$  (0 e 82 g  $\text{touceira}^{-1}$ ) não foram observadas diferenças significativas nos teores de fósforo considerando-se os distintos locais de amostragens, todos classificados como muito baixos. Com o aumento das doses de adubação

fosfatada, foram evidenciados os efeitos em relação ao local da coleta de amostras, na dose de 164 g touceira<sup>-1</sup> o teor de fósforo disponível alcançou nível médio na projeção da copa, enquanto na entre linha e na amostra mista os teores de fósforo permaneceram em nível muito baixo.

Já na dose de 246 g touceira<sup>-1</sup> o teor de fósforo trocável alcançou o nível muito alto na projeção da copa, médio na amostra mista e muito baixo na entre linha, demonstrando que é importante na coleta de amostras de solo em cultivo de açaí já implantado, coletar amostras alternadas entre a área da projeção da copa e a entre linha, de modo a não superestimar ou subestimar os teores de fósforo no solo dependendo do local da amostragem. As classificações dos níveis de fósforo disponível estão de acordo com Ribeiro *et al.* (1999), essa recomendação é utilizada pelo Laboratório de Solos e Fisiologia da Embrapa Amapá.

**Tabela 5** - Teores de P disponível em função dos locais de amostragens e das doses de adubação fosfatada

Locais de amostragem do solo	Doses de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (g touceira <sup>-1</sup> )			
	0	82	164	246
	<b>P (mg dm<sup>-3</sup>)</b>			
<b>Projeção da Copa (PC)</b>	4,49 a	6,42 a	12,84 a	33,87 a
<b>Amostra Mista (AM)</b>	1,13 a	2,23 a	5,24 b	15,42 b
<b>Entre Linha (EL)</b>	1,89 a	2,03 a	1,99 b	2,08 c

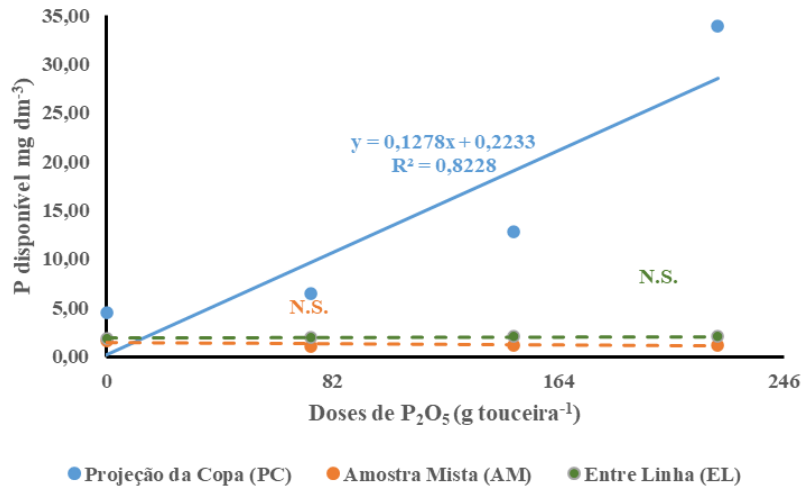
Médias seguidas da mesma letra em cada dose (colunas), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; DMS = 0,496773

Fonte: Autora (2025)

A Figura 6, mostra o comportamento do P disponível em função das doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> nos três locais de amostragem. A relação observada para a projeção da copa apresenta tendência linear clara ( $R^2 = 0,8228$ ), reforçando a correlação positiva entre o aumento das doses aplicadas e o incremento do fósforo no solo.

Neste local, o fósforo aumentou de 4,49 mg dm<sup>-3</sup> (dose 0) para 33,87 mg dm<sup>-3</sup> (dose 246 g de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> touceira<sup>-1</sup>), evidenciando forte resposta à adubação fosfatada. De acordo com Lemos *et al.* (2022), essa diferença é explicada pela elevada capacidade tampão dos solos oxidícos, que retêm o fósforo em formas pouco disponíveis. Esse fenômeno também foi discutido por Maria *et al.* (2022), que associaram a baixa mobilidade P à presença de minerais como goethita e caulinita, predominantes em solos de regiões tropicais e amazônicas.

**Figura 6** - Teores de P disponível em função dos locais de amostragens e das doses de adubação fosfatada



Fonte: Autora (2025)

Por outro lado, a entre linha apresentou valores praticamente constantes que variam entre 1,89 e 2,08 mg dm<sup>-3</sup>, sem diferenças significativas entre as doses ( $p > 0,05$ ). Esse padrão indica que a adubação fosfatada concentrou seus efeitos principalmente na zona próxima ao estipe, onde ocorre a aplicação do fertilizante e onde se encontra a maior densidade do sistema radicular. Na amostra mista, os teores oscilaram entre 1,13 mg dm<sup>-3</sup> e 15,42 mg dm<sup>-3</sup>, indicando menor intensidade de resposta devido ao efeito de diluição entre locais de amostragem diferentes, com tendência linear não foi significativa.

Esse comportamento reforça que o fósforo aplicado via superfosfato simples apresenta baixa mobilidade lateral, permanecendo concentrado na região de aplicação (Novais e Smyth, 1999).

Tais resultados corroboram com Malavolta (2006) e Cravo *et al.* (2007), que descrevem os Latossolos Amarelos da Amazônia como solos de baixa saturação por bases e elevada capacidade de fixação de fósforo, exigindo adubações localizadas e manejo adequado da calagem. Do mesmo modo, Vilaça de Vasconcelos *et al.* (2022) observaram que a eficiência do uso de fósforo em solos tropicais ácidos depende diretamente da aplicação próxima às raízes, uma vez que o nutriente tende a ser rapidamente imobilizado fora da zona de contato com o fertilizante.

Esse comportamento no caso do gênero *Euterpe* é ainda mais evidente, as palmeiras apresentam sistema radicular superficial, horizontal e altamente denso nas camadas de 0–40 cm, conforme apontado por Jourdan e Rey (1997) ao estudarem a arquitetura radicular do

dendezeiro, que apresenta um padrão de sistema radicular similar ao do açaí, que tende a formar um denso emaranhado superficial numa zona próxima ao estipe, com raízes individuais estendendo-se por vários metros de distância, esse “tapete radicular” favorece o aproveitamento do fósforo aplicado diretamente na zona de maior atividade radicular, intensificando a resposta na projeção da copa e limitando o movimento do nutriente para regiões mais distantes, como a entre linha.

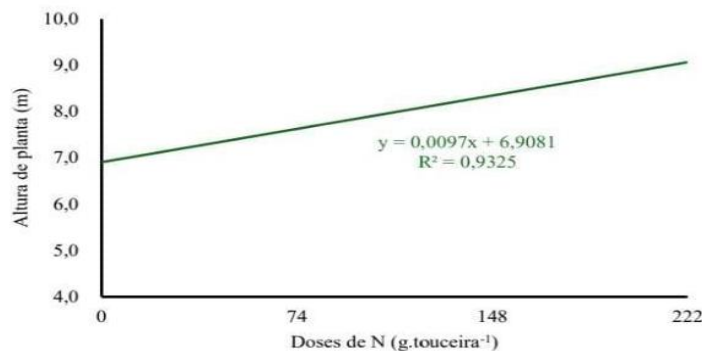
Em solos tropicais altamente intemperizados, como os Latossolos da região Amazônica, a aplicação localizada de superfosfato simples tem apresentado boa eficiência, pois o fósforo aplicado tende a se concentrar na zona de adubação (Silva *et al.*, 2010), além desse fertilizante possuir uma expressiva concentração de sulfato de cálcio, o que auxilia na movimentação de alumínio tóxico para camadas inferiores, dessa forma, o superfosfato simples é recomendado para o manejo localizado da adubação fosfatada, uma vez que promove maior aproveitamento do fósforo e melhora as condições químicas do solo para o desenvolvimento das plantas.

## 5.2 Efeitos da adubação mineral no crescimento vegetativo e na produtividade

### 5.2.1 Altura das plantas

A Figura 7, demonstra o comportamento da altura das plantas em função das doses de N, evidenciando uma tendência de crescimento linear ao longo das aplicações. O modelo ajustado ( $y = 0,0097x + 6,9081$ ;  $R^2 = 0,9325$ ) indica que, mesmo com incrementos relativamente modestos nas doses de N, houve resposta clara e consistente no aumento na altura dos açaizeiros.

**Figura 7** - Comportamento da altura das plantas em função das doses de N

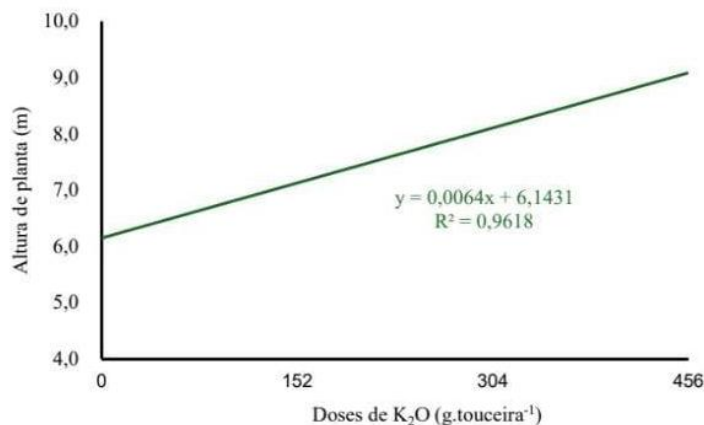


Fonte: Autora (2025)

Observa-se que as plantas passaram de aproximadamente 6,9m, na ausência de nitrogênio, para valores próximos de 9,0m na dose máxima de 222 g touceira<sup>-1</sup>, esse comportamento reforça o papel fundamental do N como elemento essencial para o desenvolvimento das plantas, pois participa diretamente da síntese de proteínas, clorofila e tecidos estruturais, ou seja, quanto maior a oferta adequada de nitrogênio, maior a capacidade da planta de expandir seus tecidos e sustentar crescimento (Silva, 2020; Da Silva, 2024).

De forma semelhante, a Figura 8 referente às doses de K<sub>2</sub>O, também revela um padrão de crescimento linear. O modelo de regressão ( $y = 0,0064x + 6,1431$ ;  $R^2 = 0,9618$ ) mostra que a altura das plantas elevou-se de cerca de 6,14 m na ausência do nutriente, para valores próximos de 9,0 m quando aplicadas doses de até 456 g touceira<sup>-1</sup>.

**Figura 8** - Comportamento da altura das plantas em função das doses de K<sub>2</sub>O



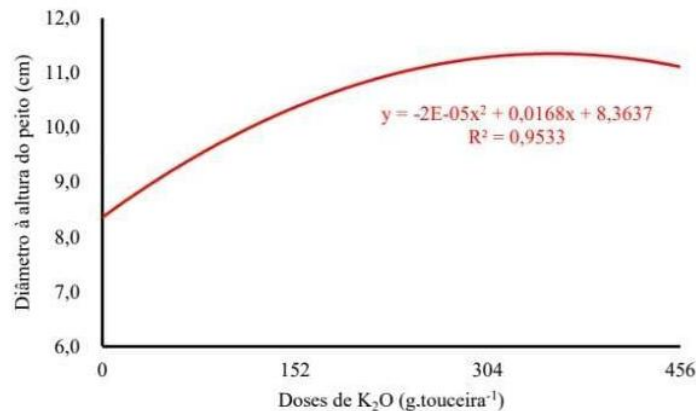
Fonte: Autora (2025)

Essa resposta é compatível com o papel fisiológico do potássio, ele é o nutriente responsável por regular a abertura estomática, o equilíbrio osmótico e a ativação enzimática, permitindo que a planta mantenha turgescência adequada e transporte eficiente de fotoassimilados (Pereira, 2025). Além da sua importância na qualidade de frutos e resistência a estresses, o K também contribui para o crescimento vegetativo das plantas, como apontado por Prado (2008) e Marschner (2012).

### 5.2.2 Diâmetro à altura do peito

A relação entre diferentes doses de  $K_2O$  e o diâmetro à altura do peito (DAP) presente na Figura 9, apresenta um comportamento quadrático, típico de respostas fisiológicas por elementos essenciais como ativação enzimática, síntese de proteínas, fotossíntese, osmorregulação, transporte no floema, transferência de energia e balanço cátion-ânion (Costa, 2025). O modelo ajustado com  $R^2 = 0,9533$ , indica excelente ajuste estatístico.

**Figura 9** - Diâmetro à altura do peito em função das doses de  $K_2O$



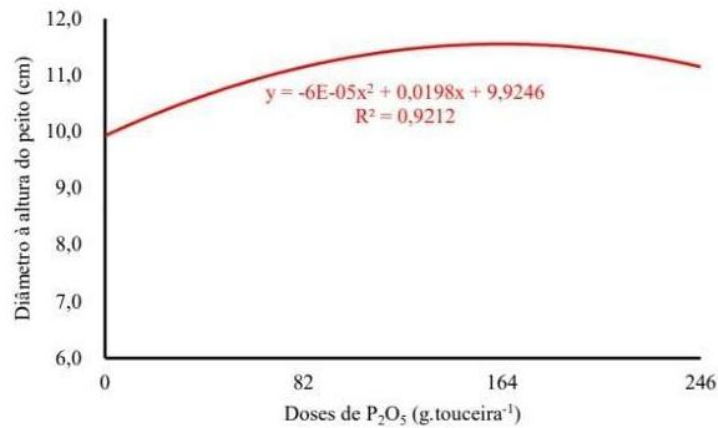
Fonte: Autora (2025)

O DAP aumentou de maneira consistente até as doses intermediárias de  $K_2O$ , alcançando valores próximos de 11,3 cm, e depois reduziu levemente nas doses máximas, esse comportamento reflete o papel do potássio no metabolismo vegetal, que favorece o crescimento radial do caule. Porém, o declínio em doses mais elevadas sugere o alcance de um ponto de saturação fisiológica, quando o excesso de K deixa de ser absorvido de forma eficiente ou começa a competir com outros cátions essenciais, como  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$ . Resultado semelhante foi observado por Marschner (2012), reforçando que o potássio atua até um limite em que o sistema radicular e o câmbio conseguem metabolizá-lo de forma produtiva. Assim, a figura 9 evidencia que o potássio é fundamental para o desenvolvimento do caule, mas dentro de uma faixa ideal de aplicação.

Na Figura 10, a resposta do DAP às doses de  $P_2O_5$  também é descrita por um comportamento quadrático, representado pela equação com  $R^2 = 0,9212$ . Esse valor representa um ajuste estatístico igualmente forte. O DAP inicial, próximo de 9,9 cm, cresce de forma constante com as doses intermediárias de fósforo, atingindo 11,56 cm, antes de apresentar leve

declínio nas maiores doses. Esse padrão está ligado ao papel essencial do fósforo na produção de energia (ATP), no crescimento radicular e na divisão celular, processos que influenciam diretamente o espessamento do tronco (Khan *et al.*, 2023).

**Figura 10** - Diâmetro à altura do peito em função das doses de  $P_2O_5$



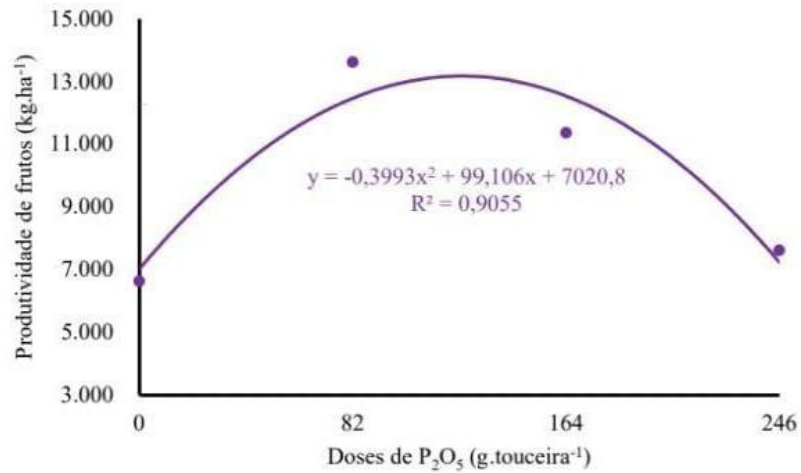
Fonte: Autora (2025)

Porém, o declínio nas doses maiores pode ser explicado pelas características químicas dos solos tropicais, que possuem elevada capacidade de fixação de fósforo, especialmente em presença de óxidos de Fe e Al (Hinsinger, 2001; Costa, 2024). Em tais ambientes, aplicações excessivas podem não resultar em maior absorção, além de interferir negativamente na disponibilidade de micronutrientes como  $Zn^{2+}$  e  $Fe^{2+}$ , como discutido por Lopes *et al.* (1999), bem como os estudos de Epstein e Bloom (2005), que afirmam que o balanço entre nutrientes é essencial para o adequado metabolismo vegetal, e o excesso de um nutriente pode limitar a eficiência de uso de outros. Portanto, é possível observar que o fósforo contribui positivamente para a expansão diametral, mas dentro de limites fisiológicos e químicos próprios dos solos da região.

### 5.2.3 Produtividade de frutos

Na figura 11 pode-se observar a curva quadrática que descreve a produtividade em resposta a interação entre as doses de  $P_2O_5$ , e as doses de N, nesse caso com o nitrogênio mantido em sua dose máxima de 222 g/touceira, nota-se um aumento progressivo da produtividade à medida que o fósforo é aplicado, até atingir o ponto máximo da parábola.

**Figura 11** - Produtividade dos frutos em função da resposta a interação entre as doses de  $P_2O_5/N$

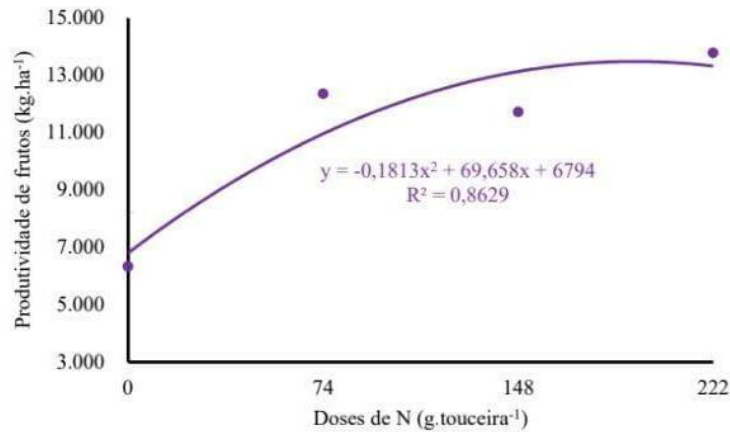


Fonte: Autora (2025)

A produtividade máxima estimada foi de 13.170,31 kg ha<sup>-1</sup>, obtida na dose de 124,10 g de  $P_2O_5$ /touceira. A partir desse dessa dose, evidencia uma redução na produtiva. isso pode estar relacionado, como é observado por Novais e Smyth (1999), que descrevem o fósforo como um nutriente de baixa mobilidade no solo, cujo excesso é rapidamente fixado por óxidos de Fe e Al, especialmente em solos altamente intemperizados da Amazônia, ou seja, doses acima da faixa ótima não resultam em aumento produtivo, elas podem reduzir a eficiência de absorção, ocasionando a saturação da solução do solo, pois o nutriente deixa de ser limitante e outros fatores passam a restringir o crescimento (Taiz *et al.*, 2017). Vale ressaltar que, Malavolta (2006) destaca que o fósforo participa ativamente da divisão celular e do florescimento, o que pode justificar o incremento inicial da produtividade observado na figura 11.

A figura 12 exibe a variação da produtividade de acordo com a interação entre as doses crescentes de N, e a dose de 304 g/touceira de  $K_2O$ , a forma da curva apresenta elevação nos valores iniciais, seguida por estabilização e posterior queda.

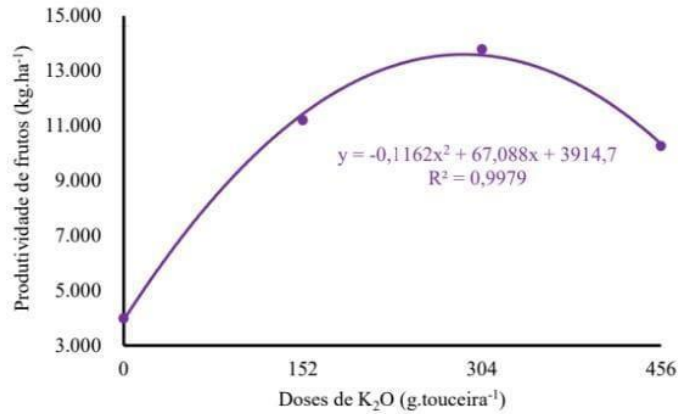
**Figura 12** - Produtividade dos frutos em função da resposta a interação entre as doses de N/K<sub>2</sub>O



Fonte: Autora (2025)

A produtividade máxima estimada, nesse caso, foi de 13.484,89 kg ha<sup>-1</sup>, alcançada com a aplicação de 192,11 g de N/touceira. Após o ponto ótimo, a queda da curva traduz os efeitos conhecidos do excesso de nitrogênio como relatado por Domingues (2024) o estímulo ao crescimento vegetativo exagerado e redução da alocação de fotoassimilados para a produção de frutos. Os estudos de Carvalho e Zabot (2012) apoiam o papel essencial do nitrogênio para o crescimento vegetativo, síntese de clorofila e formação de carboidratos, o que influencia diretamente a emissão e enchimento de cachos, porém doses excessivas desencadeiam uma série de reações e processos extremamente prejudiciais ao ambiente. Esses dados estão de acordo com estudos que mostram relação não linear entre produtividade e doses elevadas de N em fruteiras tropicais (Fageria; Baligar, 2005). Esse comportamento é típico de palmeiras cultivadas em plena produção, inclusive para o açaizeiro (Silva *et al.*, 2015). Na figura 13 é possível observar a resposta da produtividade a interação entre doses crescentes de potássio e a dose máxima de N (222 g/touceira). O modelo quadrático ajustado apresenta uma elevação contínua até atingir o máximo produtivo e, em seguida, leve queda.

**Figura 13** - Produtividade dos frutos em função da resposta a interação entre as doses de K<sub>2</sub>O/N



Fonte: Autora (2025)

A produtividade máxima obtida foi de 13.498 kg ha<sup>-1</sup>, estimada com a aplicação de 288,67 g de K<sub>2</sub>O/touceira, representada pelo ápice da curva. O K, influencia o enchimento dos cachos, transpiração e equilíbrio osmótico, sendo o nutriente mais demandado pelos frutos do açaí, apresenta tendência de respostas crescentes até níveis relativamente altos (Freitas *et al.*, 2020). Após o ápice, observa-se declínio da produtividade, estando relacionado ao antagonismo iônico entre K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup>, que se intensifica com doses elevadas (Malavolta, 2006; Raij, 2011).

Considerando-se os resultados apresentados em relação a produtividade de frutos de açaí, é possível estimar que as doses de 192,11 g de N por touceira, de 124,10 g de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> por touceira e 288,67 g de K<sub>2</sub>O por touceira, proporcionaram em média uma produtividade de 13.384 kg de frutos de açaí por ha no ano de 2024. As doses estabelecidas correspondem aos níveis 2,6 -1,5 - 2.9 entre os três nutrientes utilizados neste estudo, e que estão apresentados no anexo A.

### 5.3 Considerações econômicas

O Quadro 1 apresenta a Relação benefício/custo (RBC) para diferentes níveis de adubação aplicados ao cultivo de açaí, considerando os custos de fertilizantes, despesas operacionais e a produtividade obtida em cada estratégia. Embora a análise econômica não constitua o foco central deste trabalho, sua inclusão é importante para contextualizar a

viabilidade prática das recomendações de adubação e reforçar a aplicabilidade dos resultados ao setor produtivo.

**Quadro 1.** Relação benefício/custo de produção de frutos de açaí em função de diferentes níveis de adubação mineral

Níveis de fertilizantes	Quantidade total de fertilizantes <sup>(1)</sup>	Custo fertilizantes	Outros custos <sup>(2)</sup>	(A) Custo total
	kg ha <sup>-1</sup>	R\$		
0-0-0	0	0	42.516,93	42.516,93
Rec. Amapá (2,6-1,5-2,9)	711,41	3.658,17	42.516,93	46.175,10
3-3-3	1.077,86	5.638,96	42.516,93	48.155,89
Rec. Pará (1,5-1,5-1,8)	556,80	2.916,75	42.516,93	45.433,68

Níveis de fertilizantes	Produtividade	(B) Receita venda frutos <sup>(3)</sup>	Lucro/prejuízo (A-B)	(B/A) Benefício/custo
	kg ha <sup>-1</sup>	R\$		
0-0-0	2.752,00	16.677,12	-25.839,81	0,39
Rec. Amapá (2,6-1,5-2,9)	13.384,00	81.240,88	35.065,78	1,76
3-3-3	11.965,00	72.507,90	24.352,01	1,51
Rec. Pará (1,5-1,5-1,8)	11.076,00	67.120,56	21.686,88	1,48

(1) Somatório das quantidades dos fertilizantes sulfato de amônio, superfosfato simples e cloreto de potássio utilizados para produção de açaí em diferentes níveis. (2) Custos relativos a outros fertilizantes, manutenção do cultivo, irrigação, colheita e embalagem de frutos de açaí. (3) Receita baseada em custo médio do kg de fruto de açaí fresco no ponto de venda = R\$ 6,07 por quilo (2/3) Informações pessoais do Analista da Embrapa Amapá Antônio Carlos Pereira Góes

Observa-se que a maior RBC (1,76) foi obtida com a recomendação de adubação deste estudo (2,6–1,5–2,9), indicando que para cada R\$1,00 investido, o produtor obtém retorno adicional de R\$0,76. Essa relação positiva demonstra que a adubação mineral adequada não apenas melhora o desempenho agrônômico, mas também resulta em maior eficiência econômica, favorecendo a sustentabilidade financeira do sistema de produção.

No presente estudo, a recomendação do Amapá proporcionou produtividade média de 13.384 kg ha<sup>-1</sup>, gerando receita bruta de R\$ 81.240,88 e lucro líquido de R\$ 35.065,78. Esse desempenho se deve à oferta balanceada de nitrogênio, fósforo e potássio, elementos reconhecidamente essenciais ao desenvolvimento do açaizeiro. O nitrogênio, em especial, está associado ao crescimento vegetativo e à formação de cachos (Carvalho; Zabet, 2012). O potássio, por sua vez, contribui para enchimento dos frutos e translocação de fotoassimilados, enquanto o fósforo favorece processos energéticos relacionados à floração e frutificação (Embrapa, 2023).

A ausência de adubação (0–0–0) resultou na menor RBC (0,39), indicando prejuízo direto, já que o produtor perde R\$0,61 para cada real investido na atividade. Esse cenário é comum em solos altamente intemperizados da Amazônia, onde limitações químicas como baixa saturação por bases e fixação de fósforo reduzem drasticamente a produtividade quando não há reposição de nutrientes (Cravo *et al.*, 2007). As recomendações de adubação do Estado do Pará (1,5–1,5–1,8) e a dose máxima de fertilizantes (3–3–3) apresentaram RBC intermediárias (1,48 e 1,51, respectivamente). Apesar de economicamente viáveis, seus resultados foram inferiores à recomendação otimizada deste estudo, reforçando que a definição de doses baseadas em resposta produtiva local permite maior retorno econômico.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A coleta de amostras de solo em açazais implantados deve ser realizada alternando sub-amostras da projeção da copa e da entrelinha de plantio;

A acidez ativa do solo foi maior na área da projeção da copa sendo fortemente influenciada pela adubação nitrogenada amoniacal, o que contribuiu com a redução dos teores de cálcio e magnésio neste local;

Os teores de fósforo disponível no solo foram maiores na área da projeção da copa aumentando com o incremento das doses de fertilizantes fosfatados;

A altura de plantas e o diâmetro à altura do peito aumentaram com o incremento das doses dos fertilizantes minerais;

A adubação mineral com nitrogênio, fósforo e potássio, nas doses de 192,11 g por touceira, 124,10 g por touceira e 288,67 g por touceira, respectivamente proporcionaram uma produtividade média anual de 13.384 kg de frutos de açaí por ha, gerando uma relação benefício/custo de 1,76 com grande lucratividade para o produtor de açaí irrigado no Cerrado do Amapá.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F. C. M. *et al.* Efeitos da adubação nitrogenada de longo prazo em Latossolos no Pará. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 42, p. e0170414, 2018.
- ALMEIDA, S. S.; AMARAL, D. D.; SILVA, A. S. L. Análise florística e estrutura de florestas de várzea no estuário amazônico. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 34, n. 4, p. 513-524, 2004.
- ANDRADE, D. F.; NOLETO, A. Q. Exemplos de fatoriais fracionados  $(1/2)^{43}$  e  $(1/4)^{44}$ , para o ajuste de modelos polinomiais quadráticos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 21, p. 677-680, 1986.
- ANDRADE, H. A. F. de. **Potencial do uso do líquido da casca do coco verde na cultura do Coqueiro-anão**. 2021. Tese/Dissertação (Doutorado/Mestrado em Agronomia) – [Nome da Instituição], [Cidade], 2021.
- ANGIOSPERM PHYLOGENY GROUP (APG IV). An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 181, p. 1–20, 2016.
- AQUINO, L. A. de *et al.* Aplicação do fósforo e da irrigação na absorção e exportação de nutrientes pelo algodoeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 4, p. 355-361, 2012.
- BALIGAR, V. C.; FAGERIA, N. K. Nutrient use efficiency in acid soils: nutrient management and plant use efficiency. *In*: MONIZ, A. C. (ed.). *Plant-soil interactions at low pH*. Campinas: SBCS, 1997. p. 75-95.
- BARBOSA, J. E. C.; FERRAZ, M. G. **Açaizeiro no Estuário Amazônico: manejo comunitário, utilização e comercialização da espécie *Euterpe oleracea* Mart. e a atuação do IBAMA na Floresta Nacional de Caxiuanã, Melgaço/Portel, Pará. 2007.**
- BERNDT, H. de M. **Crescimento inicial de mudas de açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) em resposta a diferentes doses de adubação**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2022. Disponível em: <http://repositorio.ufsm.br/handle/1/25998>. Acesso em: 28 jul. 2025.
- BONNEAU, X.; OCHS, R.; QUSAIRI, L.; LUBIS, L. N. Nutrition minérale des cocotiers hybrides sur tourbe de la pépinière à l'entrée en production. **Oléagineux**, v. 48, p. 9-26, 1993.
- BOVI, M. L. A. **Cultivo da palmeira real australiana visando à produção de palmito**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1998. 26 p. (Boletim Técnico, 172).
- BOVI, M. L. A.; CANTARELLA, H. Pupunha para extração de palmito. *In*: RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (ed.). **Recomendações de adubação para algumas culturas do Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1996. p. 240-242. (Boletim Técnico, 100).

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e desenvolvimento de plantas**. Piracicaba: ESALQ, 1997. p. 132.

CARVALHO, A. A. **Morfologia e desenvolvimento do açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) em cultivo de terra firme**. Belém: UFRA, 2022.

CHAIMSOHN, F. P. Introdução ao cultivo da palmeira real australiana no Paraná. In: **CURSO sobre cultivo, processamento e comercialização de palmito de pupunha**. Londrina: IAPAR, 2001. 150 p. (Circular do Instituto Agrônômico do Paraná, n. 117).

CORDEIRO, R. A. M. **Crescimento e nutrição mineral do açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.), em função da idade em sistemas agroflorestais no município de Tomé-Açu, Pará**. 2011. Dissertação/Tese – [Instituição], [Cidade], 2011.

CRAVO, M. da S.; VIÉGAS, I. J. M.; BRASIL, E. C. (ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o estado do Pará**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2007.

DÍALOGOS PRÓ-AÇAÍ. **Análise econômica e de serviços ecossistêmicos entre diferentes sistemas de produção de açaí: um estudo comparativo**. In: Diálogos Pró-Açaí, 2024. Disponível em: <https://www.dialogosproacai.org.br/public/media/arquivos/1702411198-analise-economica-servios-ecossistemicos.pdf>. Acesso em: 26 jul. 2025.

EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL. **Área plantada com açaizeiros de terra firme gerados pela pesquisa cresce 675% no Brasil**. Belém: Embrapa, 21 mar. 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/79157772/area-plantada-com-acazeiros-de-terra-firme-gerados-pela-pesquisa-cresce-675-no-brasil>. Acesso em: 28 jul. 2025.

FANG, Q. *et al.* Spatially explicit soil acidification under optimized fertilizer use in Sub-Saharan Africa. **Agronomy**, v. 13, n. 3, p. 632, 2023.

FARIAS, G. dos S. *et al.* Efeito do manejo no crescimento de plantas de açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.). **Revista de Gestão e Secretariado**, v. 16, n. 5, p. e4835, 2025.

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

FUJII, K.; ZHENG, J.; ZHOU, Z.; FANG, Y. Avaliação quantitativa da acidificação do solo em quatro florestas chinesas afetadas pela deposição de nitrogênio. **Plant and Soil**, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-024-06602-0>.

GAMA, M. *et al.* **Açaí (*Euterpe* spp.): características, formação de mudas e plantio para a produção de frutos**. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2011. (Circular Técnica).

GANTUSS, C. A. R. **Caracterização física e química de locais de ocorrência do Açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart) no Estado do Amapá e sua relação com o rendimento e qualidade do fruto**. 2006. 79 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2006.

GITTINGER, J. P. *et al.* Análisis económico de proyectos agrícolas. 2. ed. Madrid: **Editorial Tecnos**, 1983. p 532.

HENDERSON, A. Arecaceae (Palmae). *In: FLORA NEOTROPICA MONOGRAPH*. New York: The New York Botanical Garden Press, 2000. v. 72, p. 1–362.

INSTITUTO DE PESQUISAS CIENTÍFICAS E TECNOLÓGICAS DO ESTADO DO AMAPÁ (IEPA). **Zoneamento ecológico econômico do Amapá: conhecer o que temos para crescer com equilíbrio: relatório preliminar**. Macapá: IEPA, 2023. v. 3, 137 p.

INSTITUTO ESTUDOS AMAZÔNICOS (IEA). **Na Amazônia, o fruto que alimenta há milhares de anos encara a ameaça das mudanças climáticas**. Belém: IEA, 2025. Disponível em: <https://institutoestudosamazonicos.org.br/na-amazonia-o-fruto-que-alimenta-ha-milhares-de-anos-encara-a-ameaca-das-mudancas-climaticas>. Acesso em: 26 jul. 2025.

LEMOS, J. de O. *et al.* Phosphorus fractions in soils with distinct mineralogy and their relationship with phosphate buffer capacity indicators in Brazil. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 44, n. 1, p. e52554, 2022.

LI, B. Z. *et al.* Global integrative meta-analysis of soil organic carbon stock responses to biochar amendment. **Journal of Environmental Management**, v. 351, p. 119745, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.119745>.

LI, S. *et al.* Soil acidification drives the negative effects of nitrogen enrichment on soil microbial biomass at the global scale. **Plant and Soil**, v. 503, n. 1, p. 517-528, 2024.

LIMA, A. L. C. **Fertilizantes nitrogenados: uma revisão bibliográfica sobre impactos ambientais**. 2024.

LIMA, V. C.; LIMA, M. R. Formação do solo. **O solo no meio ambiente: abordagem para professores do ensino fundamental e médio e alunos do ensino médio**. Curitiba: Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, 2007. p. 1-10.

LOPES, M. L. B.; SANTANA, A. C. O mercado do fruto do açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) no estado do Pará. *In: CARVALHO, D. F. (org.). Economia da Amazônia nos anos 90*. Belém: UNAMA, 2005. v. 2, p. 65-84.

LORENZI, H. *et al.* **Palmeiras brasileiras e exóticas cultivadas: exóticas e nativas**. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2004.

LU, X. *et al.* Nitrogen deposition contributes to soil acidification in tropical ecosystems. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 21, p. 136–147, 2014.

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

MALHOTRA, S. K. *et al.* Diagnosis and management of soil fertility constraints in coconut (*Cocos nucifera*): A review. **Indian Journal of Agricultural Sciences**, v. 87, 2017.

MARIA, L. de S. *et al.* Disponibilidade de fósforo em solos oxidicos em pastagens cultivadas no sul da Amazônia brasileira. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 11, e33341, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i11.33341. Disponível em: <https://rsdjournal.org/rsd/article/view/33341>. Acesso em: 13 nov. 2025.

- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. London: Academic Press, 1998. 889 p.
- MARSCHNER, H. (ed.). **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. 3. ed. London: Academic Press, 2011.
- MELÉM JUNIOR, N. J. *et al.* **Melhores espaçamentos e número de estipes para o cultivo do açazeiro no Cerrado do Amapá**. Macapá: Embrapa Amapá, 2025. p. 9. (Comunicado Técnico, 166).
- MELÉM JÚNIOR, N. J. *et al.* **Análise de componentes principais para avaliação de resultados analíticos da fertilidade de solos do Amapá**. 2008.
- MENDONÇA, V. C. M.; BIANCHI, D.; LUIZ, V. Agronegócio do açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) no município de Pinheiro - MA. **Revista Sodebras**, v. 9, n. 100, p. 62-65, 2014.
- MENEZES, E. M. S. **Efeito da alta pressão hidrostática em polpa de açaí pré-congelada (*Euterpe oleracea*, Mart.)**. 2005. 83 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2005.
- MENEZES, E. M. S.; TORRES, A. T.; SRUR, A. U. S. Valor nutricional da polpa de açaí (*Euterpe oleracea* Mart) liofilizada. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 38, n. 2, p. 311–316, 2008.
- MESQUITA, D. N. **Produção de mudas e cultivo de açazeiros nos estágios iniciais de crescimento na regional do baixo Acre**. 2011. 64 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Acre, Rio Branco, 2011.
- MORAIS, S. C. N. de. **Crescimento de mudas de açazeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) sob efeito de fertilização de liberação lenta**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2019. Disponível em: <http://bdta.ufra.edu.br/jspui/handle/123456789/1046>. Acesso em: 28 jul. 2025.
- MOREIRA, S. L. S.; PRATES JÚNIOR, P.; FERNANDES, R. B. A.; CUNHA, A. C. M. M. da; CAMPOS, A. N. da R. Crescimento e absorção de nutrientes em palmeira Juçara inoculada com fungos micorrízicos arbusculares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 46, n. 2, p. 169-176, 2016. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/pat/article/view/39547>. Acesso em: 16 jan. 2026.
- NOGUEIRA, M. C. **Adubação de biofertilizantes orgânicos de suínos na produção de mudas de açaí (*Euterpe oleracea* Mart.)**. 2023. 52 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal do Amazonas, Humaitá, 2023. Disponível em: <https://tede.ufam.edu.br/handle/tede/10537>. Acesso em: 28 jul. 2025.
- NOVAIS, R. F. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1999.
- NOVAIS, R. F. *et al.* **Fertilidade do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007.

OLIVEIRA, M. do S. P. de; FARIAS NETO, J. T. de; PENA, R. da S. Açaí: técnicas de cultivo e processamento. **Boletim Técnico**, Belém, v. 60, p. 2, 2007.

PASTERNAK, D. **A produção de açaí na Amazônia e sua importância para a bioeconomia**. Jornada Amazônia, 17 fev. 2025. Disponível em: <https://jornadaamazonia.org.br/a-producao-de-acai-na-amazonia-e-sua-importancia-para-a-bioeconomia/>. Acesso em: 26 jul. 2025.

QUEVEDO CAMACHO, J. C. **Efeito do balanço de cátions e ânions da planta na acidificação do solo por fertilizantes nitrogenados**. 1995. 106 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa: CFSEMG, 1999. p. 359.

RICHARDSON, A. E.; SIMPSON, R. J. Soil microorganisms mediating phosphorus availability. **Plant Physiology**, v. 156, p. 989–996, 2011.

SANTOS, E. S. dos; AZEVEDO-RAMOS, C.; GUEDES, M. C. Segurança alimentar de famílias extrativistas de açaí na Amazônia oriental brasileira: o caso da Ilha das Cinzas. **Novos Cadernos NAEA**, Belém, v. 24, n. 2, 2021. Disponível em: <https://www.periodicos.ufpa.br/index.php/ncn/article/view/8193>. Acesso em: 28 jul. 2025.

SANTOS, K. D. dos. **Uso de fertilizantes nitrogenados em pastagens**. [S. l.: s. n.], 2022.

SILVA, A. J. da *et al.* Resposta do feijão-caupi à doses e formas de aplicação de fósforo em Latossolo Amarelo do Estado de Roraima. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 40, p. 31-36, 2010.

SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. rev. ampl. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009.

SILVA, P. C. F. da. **Unidades de paisagem em áreas de savana no estado do Amapá**. 2023. 183 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Amapá, Macapá, 2023.

SILVEIRA, J. T. da *et al.* An integrative review of Açaí (*Euterpe oleracea* and *Euterpe precatoria*): Traditional uses, phytochemical composition, market trends, and emerging applications. **Food Research International**, v. 173, p. 113304, 2023. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37803612/>. Acesso em: 07 set. 2025.

SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. (ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416 p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/555355/cerrado-correcao-do-solo-e-adubacao>.

TAIZ, Lincoln *et al.* **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Artmed Editora, 2017.

TAVARES, R. F. M. **Crescimento e fisiologia de mudas de açaí e juçara cultivadas sob estresse hídrico**. 2017. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Rio de Janeiro, 2017.

TORRES, T. L. *et al.* Características botânicas, cultivo e safra. *In: FRUTAS nativas e exóticas do Brasil: nutrição e biodiversidade.* [S. l.: s. n.], 2024. cap. 27.

VAN MIEGROET, H.; COLE, D. W. The impact of nitrification on soil acidification and cation leaching in a red alder ecosystem. **Journal of Environmental Quality**, v. 13, n. 4, p. 567–572, 1984.

VASCONCELOS, M. J. V. de *et al.* Eficiência de uso de fósforo vegetal em solo tropical ácido. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 21, e1259, 2022. DOI: <https://doi.org/10.18512/rbms2022vol21e1259>.

VENTURIERI, G. R. **Ecologia da polinização do açaizeiro (*Euterpe oleracea*) com e sem a introdução de colônias da abelha uruçú-amarela (*Melipona flavolineata*).** 2015. 122 f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

VIÉGAS, I. de J. M. *et al.* Limitações nutricionais para o cultivo de açaizeiro em Latossolo Amarelo textura média, estado do Pará. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 43, n. 4, p. e-111, 2021. DOI: 10.1590/0100-29452021111.

VIÉGAS, I. J. M.; OLIVEIRA FERREIRA, E. V. de; COSTA, M. G. (ed.). **Nutrição de cultivos amazônicos.** São Paulo: Oficina de Textos, 2023.

VITTI, G. C.; PROCHNOW, L. I. **Curso de nutrição mineral de plantas.** Brasília: ABEAS, 1996. 58 p.

WRI BRASIL. **Bioeconomia na Amazônia: os distintos impactos econômicos das cadeias do açaí e do cacau.** São Paulo: WRI Brasil, 2025. Disponível em: <https://www.wribrasil.org.br/noticias/bioeconomia-amazonia-impactos-economicos-cadeias-acai-cacau>. Acesso em: 26 jul. 2025.

YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S.; VITTI, G. C. (org.). **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira.** Piracicaba: IPNI, 2007. 722 p. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/001631542>. Acesso em: 15 out. 2025.

ZHANG, Y. *et al.* Effects of phosphorus fertilization on soil chemical properties in tropical cropping systems: a meta-analysis. **Soil Use and Management**, v. 37, n. 3, p. 400–412, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1111/sum.12682>.

ZHAO, X. Q. *et al.* Questões científicas e estratégias do uso de solos ácidos na China. **Acta Pedologica Sinica**, v. 60, n. 5, p. 1248–1263, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1176/trxb202307250290>.

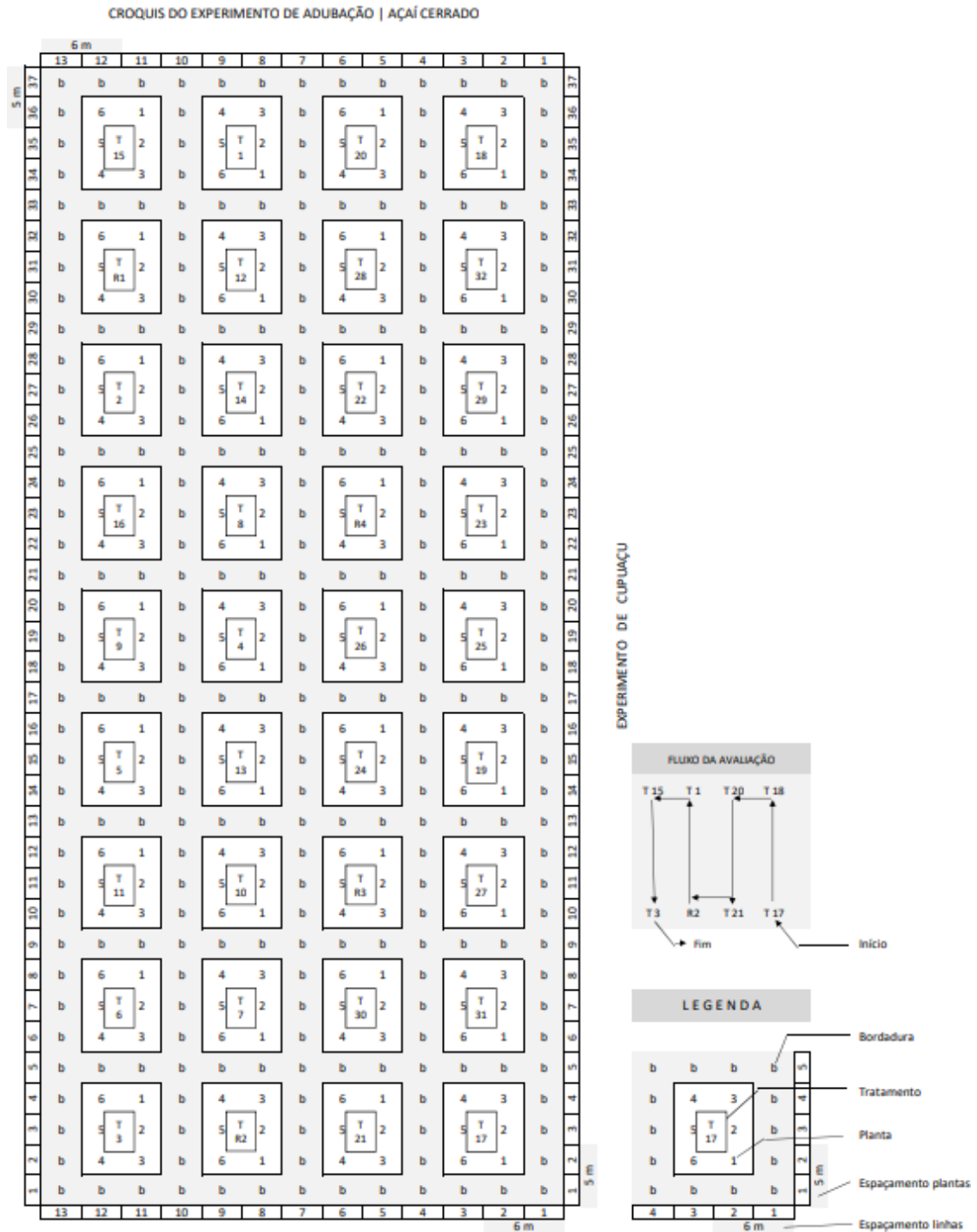
## APÊNDICE A

## QUADRO COM OS TRATAMENTOS UTILIZADOS

Tratamento (T)	N - P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> - K <sub>2</sub> O	
	Níveis	g/touceira
1	0-0-0	0-0-0
2	0-1-1	0-82-152
3	0-2-2	0-164-304
4	0-3-3	0-246-456
5	1-0-1	74-0-152
6	1-1-0	74-82-0
7	1-2-3	74-164-456
8	1-3-2	74-246-304
9	2-0-2	148-0-304
10	2-1-3	148-82-456
11	2-2-0	148-164-0
12	2-3-1	148-246-152
13	3-0-3	222-0-456
14	3-1-2	222-82-304
15	3-2-1	222-164-152
16	3-3-0	222-246-0
17	0-0-3	0-0-456
18	0-1-2	0-82-304
19	0-2-1	0-164-152
20	0-3-0	0-246-0
21	1-0-2	74-0-304
22	1-2-0	74-164-0
23	1-1-3	74-82-456
24	1-3-1	74-246-152
25	2-0-1	148-0-152
26	2-1-0	148-82-0
27	2-2-3	148-164-456
28	2-3-2	148-246-304
29	3-0-0	222-0-0
30	3-1-1	222-82-152
31	3-2-2	222-164-304
32	3-3-3	222-246-456

## APÊNDICE B

### CROQUIS DO EXPERIMENTO DE ADUBAÇÃO



OBS: Os tratamentos R1, R2, R3 e R4 não foram considerados nesse trabalho, uma vez que já estão incluídos nos níveis estudados.