



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUI
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
MESTRADO EM AGRONOMIA

LETICIA RODRIGUES DA SILVA

MANEJO DE NPK E SEUS EFEITOS NA PRODUTIVIDADE DA CAJAZEIRA
IRRIGADA E ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO

TERESINA

2025

LETICIA RODRIGUES DA SILVA

**MANEJO DE NPK E SEUS EFEITOS NA PRODUTIVIDADE DA CAJAZEIRA
IRRIGADA E ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia – PPGA da Universidade Federal do Piauí – UFPI, na área de concentração Manejo do Solo e Água e linha de pesquisa Fertilidade e adubação do solo, como requisito para obtenção do título de Mestre em Agronomia.

Orientador(a): Prof. Dr. Ricardo Silva de Sousa

Coorientador: Dr. Valdemício Ferreira de Sousa

TERESINA

FICHA CATALOGRÁFICA
Universidade Federal do Piauí
Biblioteca Comunitária Jornalista Carlos Castello Branco
Divisão de Representação da Informação

S586m	Silva, Letícia Rodrigues da. Manejo de NPK e seus efeitos na produtividade da cajazeira irrigada e atributos químicos do solo / Letícia Rodrigues da Silva. – 2025. 67 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Piauí, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Teresina, 2025. “Orientador(a): Prof. Dr. Ricardo Silva de Sousa”. “Coorientador: Dr. Valdemício Ferreira de Sousa”. 1. Spondias mombin. 2. Fertirrigação. 3. Adubação. 4. ACP. 5. Análise de solo. 6. Fruticultura. I. Sousa, Ricardo Silva de. II. Sousa, Valdemício Ferreira de. III. Título.
-------	--

CDD 634.3

Bibliotecária: Francisca das Chagas Dias Leite – CRB3/1004

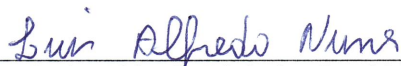
LETICIA RODRIGUES DA SILVA

**DOSES DE NPK E SEUS EFEITOS NA PRODUTIVIDADE DA CAJAZEIRA
IRRIGADA E ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO**

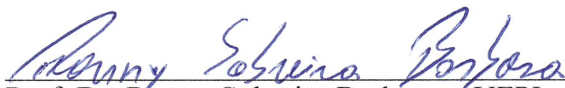
Dissertação apresentada à Universidade Federal do Piauí, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, para obtenção do título de Mestre em Agronomia.

APROVADA em 28 de maio de 2025

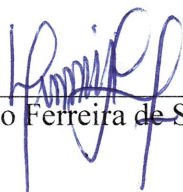
Comissão Julgadora:



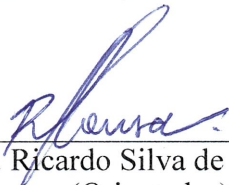
Prof. Dr. Luis Alfredo Pinheiro Leal Nunes – UFPI



Prof. Dr. Ronny Sobreira Barbosa – UFPI



Pesq. Valdemício Ferreira de Sousa – EMBRAPA Meio-Norte



Prof. Dr. Ricardo Silva de Sousa – UFPI
(Orientador)

TERESINA-PI
2025

Dedico,
À minha mãe, Leidimar,
ao meu pai, Lenir,
ao meu filho, Heitor,
e ao meu marido, Rafael.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, fonte de toda força e sabedoria, por me sustentar em cada passo desta jornada, iluminando meu caminho e renovando minhas forças nos momentos de dificuldade. Sem sua graça e bondade, este sonho não teria se concretizado.

Em segundo lugar, a minha família, meu porto seguro, que esteve ao meu lado em todos os momentos. À minha mãe, Leidimar Araújo Rodrigues, pelo amor incondicional e pelas palavras de encorajamento que sempre me fizeram seguir em frente. Ao meu pai, Lenir Oliveira da Silva, pelo exemplo de dedicação e perseverança, que me ensinou a nunca desistir. Ao meu filho, Heitor Rodrigues, que é minha inspiração diária. É a minha maior motivação para sempre sonhar mais alto e buscar nossas metas. Afinal, tudo que faço hoje é em prol da felicidade e conforto dele. E ao meu marido, Rafael Ivo Cardoso, pelo apoio, paciência e incentivo inabaláveis. Sem vocês, a caminhada seria muito mais difícil.

Ao meu coorientador, Dr. Valdemicio Ferreira de Sousa, minha sincera gratidão por sua orientação, paciência e ensinamentos valiosos. Sua dedicação e incentivo foram fundamentais para a realização deste trabalho. Obrigada por compartilhar seu conhecimento e por me guiar com tanto profissionalismo e generosidade ao longo dessa trajetória. Agradeço também ao meu orientador, Prof. Dr. Ricardo Silva de Sousa, pelo apoio e incentivo durante esses anos de mestrado.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para essa conquista, meu mais profundo e sincero agradecimento!

RESUMO

A cajazeira (*Spondias mombin* L.) é uma frutífera de destaque nas regiões Norte e Nordeste do Brasil, com frutos de alto valor nutricional e ampla aceitação comercial. No entanto, o cultivo da cajazeira ainda carece de recomendações técnicas sobre adubação e manejo da fertilidade do solo. Este estudo avaliou o efeito de diferentes doses de nitrogênio, fósforo e potássio na produtividade da cajazeira irrigada e nos atributos químicos do solo, em Teresina-PI, em um Latossolo Amarelo de textura franco-arenosa, sob clima tropical úmido. O delineamento foi em blocos casualizados, com 11 tratamentos e três repetições. As doses de N e K foram aplicadas via fertirrigação, enquanto o P foi incorporado ao solo a lanço. Foram realizadas análises químicas do solo, estatísticas de regressão e componentes principais, além de avaliação econômica do sistema de cultivo. Os resultados revelaram que a produtividade da cajazeira variou de 0,356 t ha⁻¹ a 4,381 t ha⁻¹, com o melhor desempenho observado na dose de 167-170-167 kg ha⁻¹ de NPK. A análise de regressão indicou que o nitrogênio exerceu maior efeito sobre a produtividade, enquanto o potássio demonstrou comportamento dependente da interação com os demais nutrientes e com os atributos do solo. A análise dos atributos químicos demonstrou que os tratamentos influenciaram significativamente os teores de K, Ca e a CTC, refletindo em respostas diferenciadas na produtividade. A análise de componentes principais evidenciou correlação positiva entre a disponibilidade de K e a produção de frutos. A sazonalidade produtiva concentrou-se entre os meses de janeiro e abril, coincidindo com o período chuvoso da região. A análise econômica indicou que, sob condições técnicas e mercadológicas avaliadas, o investimento em um pomar irrigado de cajazeiras pode apresentar retorno financeiro a partir do 14º ano de cultivo. Os resultados contribuem para a formulação de recomendações técnicas mais ajustadas à realidade edafoclimática local e aos sistemas de produção da cajazeira em cultivo comercial.

Palavras-chave: *Spondias mombin*, fertirrigação, adubação, análise de solo, ACP, fruticultura.

ABSTRACT

Spondias mombin L. is a fruit tree of agroeconomic relevance in the northern and northeastern Brazil, producing nutritionally dense fruits with high commercial value. Despite its potential, the crop lacks well-defined technical guidelines for fertilization and soil fertility management. This study assessed the effects of different nitrogen (N), phosphorus (P), and potassium (K) application rates on the yield of irrigated *Spondias mombin* L. orchards and soil chemical properties in a humid tropical climate (Teresina, Piauí), on a soil categorized as an Oxisol with sandy loam texture. The experimental design consisted of randomized block with 11 treatments and three replications. Nitrogen and potassium were applied via fertigation, whereas phosphorus was surface-broadcast and incorporated. Soil chemical analyses were paired with regression modeling, principal component analysis (PCA), and an economic assessment of the production system. Fruit yield ranged from 0.356 to 4.381 t ha⁻¹, peaking at 167-170-167 kg ha⁻¹ of N-P₂O₅-K₂O. Regression analysis indicated nitrogen as the primary yield determinant, whereas potassium response was interaction-dependent. Fertilization significantly affected soil K, Ca, and cation exchange capacity (CEC), which explained yield irregularity. PCA revealed a positive correlation between soil-available potassium and production. Fruit harvests occurred predominantly from January to April, coinciding with the rainy season. Economic analysis suggested that financial viability of irrigated *Spondias mombin* L. orchards may begin after 14 years. These findings support context-specific fertilization strategies for cajá production in tropical environments.

Keywords: *Spondias mombin* L., fertigation, fertilization, soil analysis, PCA, fruit growing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Pomar de cajazeira no sítio Tuteurubá, 2020.

Figura 2. (A) Área de cajá após a roçagem; (B) Poda de produção nas plantas de cajazeira do Sítio Tuteurubá, Teresina, PI.

Figura 3. Plantas de cajá após a aplicação de SFS na sub-copa das plantas;

Figura 4. Sistema de microaspersão instalado para as cajazeiras no sítio Tuteurubá;

Figura 5. (A) Sistema Venturi; (B) Cabeçal de controle do sistema de irrigação/fertirrigação; (C) trabalhador fazendo a mistura da solução para fertirrigação das plantas de cajá; (D) planta após a fertirrigação.

Figura 6. Distribuição percentual de ureia e cloreto de potássio aplicados no ciclo de produção da cajazeira via fertirrigação.

Figura 7. (A) frutos de cajá maduros na planta; (B) frutos de cajá recolhidos.

Figura 8. Gráfico de contorno referente ao efeito de diferentes doses de nitrogênio (N) e potássio (K_2O) aplicadas por fertirrigação na produtividade de frutos da cajazeira ($kg\ planta^{-1}$).

Figura 9. Perfil de distribuição temporal (mensal) da safra do ano de 2023 de frutos da cajazeira em função das diferentes doses de nitrogênio, fósforo e potássio (tratamentos: T1, T2, e T11).

Figura 10: (A) Biplot das variáveis estudadas sob a influência dos nove tratamentos e duas testemunhas; (B) dendrograma utilizando-se o método Ward (Ward's Method).

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Atributos químicos do solo do sítio Tukurubá (2020).;

Tabela 2. Tratamentos: combinações de doses de nitrogênio, fósforo e potássio;

Tabela 3. Médias de produtividade de frutos do cajá em função da combinação de diferentes doses de nitrogênio (N), fósforo (P_2O_5) e potássio (K_2O) aplicadas por fertirrigação e convencional. Teresina – PI, 2023;

Tabela 4. Análise de variância da produtividade de cajá e a interação entre os tratamentos em fatorial e os adicionais;

Tabela 5. Equação de regressão para (PROD): produção de frutos de cajá. Teresina-Pi;

Tabela 6. Valores médios pH, fósforo (P), potássio (K), sódio (Na), cálcio (Ca), magnésio (Mg), hidrogênio + alumínio (H+Al), matéria orgânica (MO), saturação total (PST) referentes a análises químicas de cada tratamento na profundidade de 20 cm;

Tabela 7. Valores médios referentes a análises químicas de cada tratamento na profundidade de 40 cm.

Tabela 8. CTC, soma de bases e saturação de bases das amostras coletadas em 20 e 40cm de profundidade.

Tabela 9. Estimativa das variâncias (Autovalores) e porcentagem acumulada da variância total (%), obtidas pela análise de componentes principais considerando-se os 8 acessos;

Tabela 10. Médias dos agrupamentos para os nove tratamentos e duas testemunhas para as variáveis estudadas;

Tabela 11. Valores e médias dos agrupamentos para os nove tratamentos e duas testemunhas para as variáveis estudadas;

Tabela 12. Resultados econômicos da produtividade da cajazeira em 1 ha;

Sumário

1. Introdução	12
2. Referencial teórico	14
2.1 Origem e morfologia da Cajazeira (<i>Spondias mombin</i> L.)	14
2.2 Cultivo e manejo da cajazeira	15
2.3 Nutrição mineral da cajazeira	17
2.4 Fertirrigação em fruteiras e seus impactos nos atributos químicos do solo	20
2.5 Importância Econômica e Potencial Agroindustrial do cajá	22
3. Objetivos	23
3.1 Objetivo geral	23
3.2 Objetivos específicos	23
4. Material e métodos	23
4.1 Caracterização da área	23
4.2 Preparo da área Experimental	25
4.3 Delineamento Experimental	26
4.4 Sistema de irrigação	27
4.5 Fertirrigação	28
4.6 Colheita e avaliação da produtividade da cajazeira	29
4.7 Análise estatística da produtividade	30
4.8 Avaliação dos atributos químicos do solo	31
4.9 Análise estatística dos atributos químicos do solo	31
4.10 Avaliação econômica	31
5. Resultados e discussão	34
5.1 Produtividade da cajazeira	34
5.2 Distribuição temporal da colheita e da produção de frutos da cajazeira	40
5.3 Atributos químicos do solo	42
5.4 Análise dos componentes principais (ACP)	48
5.5 Análise econômica da cajazeira irrigada no município de Teresina-PI	52
6. Conclusão	59
7. Referências bibliográficas	60

1. Introdução

A cajazeira (*Spondias mombin* L.), uma frutífera tropical da família das Anacardiáceas, é nativa do Brasil e tem ampla distribuição nas regiões Norte e Nordeste (FONSECA, 2017; ZÓRTEA et al., 2021). Conhecida por nomes regionais como taperebá e cajá-mirim, é valorizada pelos frutos de excelente sabor, alto valor nutricional e potencial agroindustrial (SACRAMENTO; SOUZA, 2000; SILVINO et al., 2017). Apesar de ser importante para a economia regional, o cultivo da cajazeira ainda é predominantemente extrativista, com produção in natura e crescente demanda agroindustrial (VASCONCELOS et al., 2023).

Valorizada regionalmente como árvore para sombreamento, a cajazeira é reconhecida pela produção de frutos que representam uma importante fonte de renda para os agricultores. Os frutos são apreciados pelo excelente sabor de sua polpa (SACRAMENTO; SOUZA, 2000) e apresentam características agroindustriais e químicas favoráveis, como rendimento médio de polpa entre 60% e 80% (SOUZA et al., 2016), Brix de 10° além de alto valor nutricional e funcional, devido aos baixos teores energéticos, à presença de fibras e às consideráveis quantidades de vitamina C e provitamina A (SILVINO et al., 2017).

No Estado do Piauí, a cajazeira é encontrada em muitos municípios. Embora ainda esteja em fase de domesticação, o comércio tanto da fruta in natura quanto de seus produtos processados depende majoritariamente do extrativismo. Contudo, a crescente demanda por produtos processados de cajá tem incentivado os fruticultores a investirem no cultivo tecnificado. Atualmente, o estado conta com cerca de 80 hectares de pomares comerciais de cajazeiras, o que evidencia a necessidade de suporte tecnológico no manejo e produção para aumentar a produtividade e a qualidade dos frutos (VASCONCELOS et al., 2023).

Uma das principais dificuldades no cultivo da cajazeira é a escassez de informações sobre suas exigências nutricionais, o que dificulta a definição de doses agronomicamente corretas e economicamente viáveis para estratégias de manejo nos pomares (FEITOSA, 2007). Devido à falta de dados específicos, os fruticultores frequentemente recorrem a recomendações de adubação destinadas a outras espécies da família Anacardiaceae ou a outras fruteiras perenes (SANTOS-SEREJO et al., 2009), prática que pode prejudicar o desenvolvimento da cajazeira e impedir que a planta atinja seu pleno potencial produtivo.

A adubação, sendo um processo complexo, exige recomendações adequadas, pois influencia diretamente a qualidade do solo, alterando suas propriedades químicas, como pH, condutividade elétrica, saturação de bases, capacidade de troca catiônica (CTC) e disponibilidade de nutrientes essenciais (COSTA; COSTA, 2015). Adubações inadequadas podem resultar em distribuição irregular de nutrientes ao longo da área e desequilíbrio químico na solução do solo, ocasionando problemas como aumento da condutividade elétrica, restrições no crescimento radicular e, conseqüentemente, baixa produtividade, com impactos irreversíveis no ecossistema (BATISTA et al., 2018).

Assim, para uma recomendação adequada do manejo nutricional, é necessário considerar as características específicas da espécie e a dinâmica de uso de nutrientes ao longo do ciclo de vida da planta, especialmente durante as fases de maior demanda, como a floração e a frutificação. Fruteiras perenes, como a cajazeira, apresentam uma demanda concentrada de nutrientes em um curto período, geralmente entre 5 e 6 meses. Em sistemas tecnificados, recomenda-se o parcelamento dos fertilizantes durante esse período, o que, aliado ao uso de sistemas de irrigação, melhora a eficiência do uso dos fertilizantes, disponibiliza nutrientes no volume de solo explorado pelo sistema radicular e reduz custos com mão de obra e máquinas e implementos agrícolas (SOUSA et al., 2011).

A fertirrigação tem sido destacada como estratégia promissora para melhorar a eficiência da adubação, especialmente em fruteiras tropicais. Essa técnica permite aplicar nutrientes solúveis diretamente na zona radicular, otimizando a absorção e reduzindo perdas por lixiviação e volatilização (COELHO; OR; SOUSA, 2011; BRUNETTO et al., 2023). Estudos demonstram que a aplicação fracionada de nutrientes via água de irrigação melhora a distribuição no solo, estimula o crescimento radicular e reduz custos operacionais (PINTO et al., 2002; CRISÓSTOMO; NAUMOV, 2009).

Entretanto, a aplicação inadequada ou empírica da fertirrigação pode resultar em impactos negativos, como salinização, desequilíbrios químicos e perdas econômicas. Por isso, o manejo da adubação em sistemas irrigados deve ser baseado em critérios técnicos, respeitando as fases fenológicas da planta, a dinâmica dos nutrientes e as condições edafoclimáticas locais (SIMÃO; MANTOVANI; SIMÃO, 2004; SOUSA et al., 2011). A ausência de recomendações específicas para a cajazeira justifica a necessidade de estudos que avaliem o efeito de doses de N, P e K em sua produtividade, bem como os impactos sobre os

atributos químicos do solo.

2. Referencial teórico

2.1 Origem e morfologia da Cajazeira (*Spondias mombin* L.)

O gênero *Spondias* foi descrito por Linnaeus em 1753, quando classificou a cajazeira como *Spondias mombin* L., integrante da família Anacardiaceae. Esta família inclui diversas frutíferas de grande relevância comercial, como a mangueira (*Mangifera indica* L.), o pistache (*Pistacia vera* L.), o cajueiro (*Anacardium occidentale* L.), além de outras espécies do gênero *Spondias* que ainda são pouco exploradas, como a cajaraneira (*Spondias dulcis* Parkinson), o umbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arruda) e a umbu-cajazeira (*Spondias* sp.) (LEDERMAN; LIRA-JUNIOR; SILVA-JUNIOR, 2008).

A origem da espécie *Spondias mombin* L. ainda é controversa. Enquanto determinados autores a consideram nativa de ampla faixa da América tropical, estendendo-se do sul do México ao sudeste do Brasil, outros restringem sua origem à Mesoamérica, propondo um centro de domesticação primário nessa região (LE; DALY, 2015; ARCE-ROMERO et al., 2017). No território brasileiro, o centro de diversidade da espécie compreende áreas da Amazônia Ocidental, especialmente o estado do Acre e zonas de fronteira com o Peru e a Bolívia, além de fragmentos da Mata Atlântica (FONSECA et al., 2017), ocorrendo tanto nas terras firmes e várzeas da Amazônia quanto nas áreas mais úmidas da Mata Atlântica, sendo bastante encontrada nas regiões Norte e Nordeste do Brasil. Em relação às exigências climáticas, apresenta bom desempenho em condições de clima tropical quente, úmido ou subúmido, com tolerância a períodos sazonais de estiagem (SACRAMENTO; SOUZA, 2009).

Em relação a morfologia, a cajazeira caracteriza-se como espécie arbórea caducifólia, de porte elevado, podendo ultrapassar 20 metros de altura, arquitetura monopodial ou bifurcada em formato dicotômico (em “Y”). O tronco é revestido por ritidoma espesso, acinzentado, com textura rugosa e fissuras longitudinais marcantes. A copa, densa e fortemente ramificada na porção apical, confere à planta elevado valor paisagístico durante os períodos reprodutivos (SOUZA; BLEICHER, 2002). As folhas são compostas, alternadas, imparipenadas, contendo de 5 a 11 pares de folíolos elípticos, conforme descrições botânicas clássicas (Souza, 2005).

As inflorescências, do tipo panícula, são formadas por numerosas flores hermafroditas

pedunculadas. Cada flor apresenta cinco sépalas, cinco pétalas, dez estames com anteras dextrorsas e um ovário composto por cinco carpelos, os quais delimitam o número de lóculos. Os estilos, livres e alongados, são providos de estigmas lineares e dorsais. Uma única inflorescência pode conter mais de 2.000 flores. Os frutos, do tipo drupa, exibem coloração variável verde-clara, amarela, alaranjada ou vermelha (FONSECA et al., 2017).

No que tange a propagação da cajazeira, observa-se que a multiplicação via sementes resulta em ampla variabilidade genética entre os indivíduos, o que se manifesta em diferenças acentuadas quanto ao porte, arquitetura da copa, morfologia foliar, características dos frutos, além de uma fase juvenil prolongada e oscilações nos eventos fenológicos (SACRAMENTO; SOUZA, 2009). Em contraposição, plantas obtidas por propagação vegetativa tendem a apresentar maior uniformidade fenotípica, permitindo a obtenção de clones com elevada fidelidade genética em relação à planta matriz. Essa uniformidade agrônômica confere maior previsibilidade ao comportamento dos indivíduos no campo, favorecendo a padronização dos pomares e a eficiência produtiva (SOUZA, 2015; SOUZA, 2020).

2.2 Cultivo e manejo da cajazeira

A cajazeira é uma espécie que ainda está em processo de domesticação. Em consequência disso, a maior parte da produção de frutos de cajá comercializados é oriunda de extrativismo ou de pomares domésticos com plantios desorganizados conduzidos sem técnicas adequadas de manejo (AMARAL et al., 2024). Na literatura, há poucas informações sobre manejo e tratamentos culturais para a cajazeira, o que obriga os produtores a adaptarem tecnologias adotadas para outros cultivos perenes da mesma família da cajazeira, como mangueira ou cajueiro (SACRAMENTO; SOUZA, 2009).

O primeiro desafio no que tange ao cultivo de cajá é a obtenção de mudas, pois não há genótipos nem clones comerciais recomendados e registrados para o cultivo (SOUZA; SOARES; INNECO; 2017). Assim, para implantar um pomar é necessário que o produtor busque mudas em diferentes viveiros ou retire estacas de plantas estabelecidas que possuam características de interesse comercial, como porte reduzido, precocidade de frutificação, menor fase juvenil. Na ausência de clones comerciais certificados, além da variabilidade genética, há risco de introdução de plantas contaminadas com patógenos e pragas (GERUM et

al., 2019).

Outrossim, a época de plantio das mudas deve ser criteriosamente considerada, sobretudo em sistemas de cultivo em regime de sequeiro. Apesar de *Spondias mombin* L. apresentar relativa tolerância à escassez hídrica, seu desempenho vegetativo e reprodutivo é significativamente superior sob condições de adequada disponibilidade de água (FONSECA et al., 2017). Em ambientes naturais a espécie é capaz de sobreviver por longos períodos; contudo, sua capacidade produtiva é reduzida, especialmente em regiões caracterizadas por clima semiárido. Dessa forma, para viabilizar cultivos tecnificados com elevado rendimento econômico, torna-se imprescindível a adoção de sistemas de irrigação, os quais podem incluir métodos como gotejamento, microaspersão ou aspersão convencional. A escolha do sistema mais apropriado deve considerar variáveis edafoclimáticas locais e a disponibilidade hídrica da propriedade, a fim de maximizar a eficiência no uso da água e garantir a sustentabilidade da produção.

Para o plantio da cajazeira, recomenda-se o uso de mudas com 6 a 8 folhas bem desenvolvidas, em covas de 40 cm x 40 cm x 40 cm, previamente adubadas, dispostas em arranjo triangular de 10 m x 10 m (SOUZA, 2020). Embora sejam limitadas as pesquisas acerca das exigências nutricionais para *Spondias mombin* L., observa-se que, na prática agrícola, para realizar a adubação das plantas, os produtores recorrem predominantemente à correção da fertilidade do solo com base na análise química dos solos a serem cultivados. Nesses casos, é comum a adoção de recomendações nutricionais generalizadas para outras frutíferas tropicais, com aplicações de adubação de manutenção utilizando fertilizantes minerais, principalmente formulações de NPK, associadas a compostos orgânicos (FONSECA et al., 2017). Essa abordagem, embora empírica, tem sido empregada como estratégia provisória diante da ausência de protocolos agronômicos específicos para a espécie.

Além do manejo nutricional adequado, práticas culturais como a poda exercem papel essencial na formação e na longevidade produtiva da cajazeira. Após a implantação do pomar, torna-se imprescindível a realização sistemática de podas, com ênfase nas modalidades de formação, condução e limpeza, as quais contribuem para a estruturação da copa, o controle do vigor vegetativo e a sanidade da planta. A poda de formação deve ser executada por volta dos seis meses após o plantio, durante a fase inicial de crescimento vegetativo, por meio da supressão do ápice caulinar. Essa intervenção visa romper a dominância apical, promovendo a

indução de brotações axilares e o desenvolvimento de ramos laterais, o que favorece uma copa mais ampla e bem distribuída (SOUZA, 2015).

A poda de condução tem como objetivo a remoção de estruturas indesejadas, como ramos ladrões, mal inseridos ou excessivamente vigorosos, que comprometem o equilíbrio morfofisiológico da copa. Essa prática contribui para a formação de um dossel mais homogêneo, otimiza a interceptação luminosa e facilita as operações de manejo, como pulverizações e colheita. Já a poda de limpeza é indicada para o período pós-colheita, durante a fase de dormência fisiológica, e consiste na eliminação de ramos senescentes, necrosados, danificados ou acometidos por patógenos ou pragas. Tal intervenção é essencial para a renovação dos tecidos vegetativos, manutenção da fitossanidade e preservação da arquitetura estrutural, assegurando a capacidade da planta de sustentar a frutificação nos ciclos subsequentes (SOUZA, 2015).

Adicionalmente, a manutenção do pomar exige a adoção de práticas como a roçagem nas entrelinhas de plantio, o coroamento das plantas e o monitoramento fitossanitário para controle de pragas e doenças, fatores que podem impactar significativamente a produtividade e a qualidade dos frutos após a colheita. Entre as principais doenças que afetam a cultura, destacam-se a resinose, a antracnose e a cercosporiose (SOBRINHO et al., 2022). Além disso, insetos das espécies *Anastrepha obliqua*, *A. zenildae*, *A. sororcula* e *A. fraterculus* (NASCIMENTO et al., 2023), bem como outras pragas pertencentes às ordens Coleoptera e Lepidoptera, representam ameaças relevantes à produção e requerem estratégias de manejo adequadas (SOUSA, 2019).

2.3 Nutrição mineral da cajazeira

A cajazeira, como outras fruteiras perenes, possui um ciclo fenológico que inclui fases de crescimento vegetativo, floração, frutificação e senescência, cada uma com demandas nutricionais específicas (SACRAMENTO; SOUZA, 2009). Para garantir a sustentabilidade do sistema de cultivo, a produção de frutos de alta qualidade e o desenvolvimento saudável da planta, é essencial que o fornecimento de nutrientes esteja sincronizado com a capacidade de absorção pelas plantas, considerando a necessidade de nutrientes nas diferentes épocas do ciclo (BRUNETTO et al., 2023).

No geral, as adubações para frutíferas se dividem em: adubação de correção, crescimento e manutenção. A primeira é praticada no pré-plantio, principalmente com nutrientes pouco ou medianamente móveis no solo, como potássio (K) e fósforo (P), a fim de elevar a disponibilidade de nutrientes para um nível de suficiência satisfatório, para então conduzir o pomar para adubações sazonais ou estacionais, a depender da necessidade da espécie cultivada. Nessa adubação também podem ser adicionados os fertilizantes que contêm micronutrientes como zinco (Zn) e boro (B) (ROZANE; BRUNETTO; NATALE, 2017).

Já a adubação de crescimento é realizada após o estabelecimento do pomar, durante o crescimento das plantas, até a formação dos frutos, em torno de 2 a 4 anos de cultivo. Ela é primordial para a promoção do vigor da frutífera, estimulando o crescimento das raízes e da parte aérea. Nessa fase, o nitrogênio (N) é demandado em quantidades superiores às de potássio (K) e fósforo (P) (FACHINELLO; NACHTIGAL; KERSTEN, 2008).

Na fase de plena produção do pomar, a adubação necessária a ser realizada anualmente é a de manutenção, realizada de forma parcelada (ROZANE; NATALE, 2014), distribuindo a primeira parcela no período em que as plantas começam a brotar. Geralmente, as fontes de nutrientes são bastante solúveis, principalmente as fontes de nitrogênio, podendo ser fracionados da seguinte forma: 30% no início da brotação, 30% depois do raleio e 40% depois da colheita (FACHINELLO; NACHTIGAL; KERSTEN, 2008). Entretanto, essa distribuição depende do ciclo de vida e das necessidades da planta em cada fase (BRUNETTO et al., 2023).

No caso da cajazeira, o ciclo exibe fases sincronizadas com as estações do ano. Anualmente, a cajazeira perde todas as folhas e muitos galhos, num processo de senescência que acontece, na região nordeste, entre os meses de julho e agosto. Na senescência, enzimas hidrolíticas degradam macromoléculas (proteínas, carboidratos, ácidos nucleicos) enquanto metabólitos como açúcares, aminoácidos e minerais são realocados via floema para outras partes da planta, onde serão reutilizados (SOUZA, 2015).

A recuperação fisiológica de *Spondias mombin* L. após o período de senescência requer estímulos nutricionais específicos que favoreçam a retomada da atividade meristemática e o desenvolvimento de novos tecidos vegetativos. Nesse contexto, o nitrogênio (N) desempenha papel central no processo de rebrota, tendo sido identificado como principal nutriente para a

formação de folhas, entrenós e gemas (VIEIRA, 2017). Tal protagonismo do N justifica-se por sua participação direta na síntese de clorofila, fundamental para a retomada da atividade fotossintética, bem como por sua presença estrutural em moléculas orgânicas de alta complexidade, como aminoácidos, proteínas e ácidos nucleicos (DNA e RNA), os quais estão diretamente envolvidos nos processos de divisão celular, diferenciação tecidual e resposta adaptativa ao estresse (NASCIMENTO et al., 2024).

Dentre os macronutrientes essenciais ao manejo nutricional de frutíferas em sistemas intensivos, o potássio (K) ocupa posição de destaque como o segundo elemento mais frequentemente aplicado nas adubações anuais de manutenção (BRUNETTO et al., 2023). A aplicação do K é, em geral, realizada de forma parcelada ao longo do ciclo fenológico da planta, iniciando-se com doses reduzidas no período de brotação e sendo progressivamente intensificada à medida que se aproxima a fase de frutificação. Essa estratégia visa sincronizar a oferta do nutriente com as demandas fisiológicas da planta em diferentes estágios de desenvolvimento.

A importância do potássio nessa fase decorre de sua atuação multifuncional em diversos processos fisiológicos. Além de contribuir para o desenvolvimento do sistema radicular e aumentar a resistência da planta a pragas e condições adversas, o K participa da regulação da abertura estomática, o que influencia diretamente a eficiência do uso da água e a fotossíntese. No contexto da qualidade dos frutos, o nutriente está associado à intensificação da coloração, do aroma e do teor de vitamina C, aspectos sensoriais de valor comercial. Ademais, o potássio exerce efeitos benéficos na prevenção de desordens fisiológicas durante o desenvolvimento dos frutos, bem como na redução de perdas pós-colheita, promovendo maior longevidade e integridade do produto colhido (MELLO; MENDONÇA, 2017).

O fósforo (P) é outro nutriente comumente recomendado em adubações sazonais em fruteiras, desde que haja planejamento considerando os níveis de disponibilidade do elemento e o seu potencial de fixação nos complexos coloidais do solo. A simples presença de fósforo em níveis aparentemente adequados não garante sua efetiva absorção pelas plantas, uma vez que, em solos com elevada capacidade de adsorção, como aqueles com altos teores de óxidos de ferro e alumínio ou com acúmulo expressivo de matéria orgânica, esse nutriente tende a ser retido em formas não lábeis, tornando-se indisponível para o sistema radicular (PEREIRA; COSTA; CARVALHO, 2021; SANTOS; GATIBONI; KAMINSKI, 2008), comprometendo

funções fisiológicas fundamentais, como a formação e crescimento do sistema radicular, a expansão foliar, o perfilhamento e a diferenciação reprodutiva, incluindo a frutificação (MALAVOLTA et al., 1997).

Assim, é notório que a eficiência da adubação em fruteiras depende de uma abordagem integrada, que considere as fases fenológicas da cultura, as exigências nutricionais em cada estágio e as propriedades físico-químicas do solo. Nesse contexto, tecnologias como a fertirrigação têm sido amplamente adotadas por sua capacidade de otimizar o uso de insumos, ao aliar a aplicação de nutrientes ao fornecimento hídrico. A solubilização e distribuição homogênea do fertilizante por meio da água de irrigação promovem maior interceptação pelos sistemas radiculares ativos, aumentando significativamente a eficiência da absorção (BORGES, 2021; COELHO; OR; SOUSA, 2011).

2.4 Fertirrigação em fruteiras e seus impactos nos atributos químicos do solo

A fertirrigação é uma técnica que consiste na aplicação de fertilizantes via água de irrigação, combinando dois fatores essenciais para o crescimento das plantas: a água e os nutrientes. Entre suas vantagens, destaca-se a maior eficiência na aplicação de fertilizantes, desde que o sistema de irrigação seja bem projetado e tenha boa uniformidade. Além disso, a fertirrigação permite a redução na dosagem de nutrientes, já que os fertilizantes são aplicados nas quantidades e momentos exatos de necessidade das plantas, promovendo um aproveitamento mais eficiente dos nutrientes (COELHO; OR; SOUSA, 2011; SOUSA et al., 2011; BORGES et al., 2009).

Essa técnica tem sido empregada em sistemas de irrigação localizada, como gotejamento e microaspersão, devido a sua capacidade de proporcionar elevada precisão na aplicação dos nutrientes diretamente na zona de absorção radicular. Essa estratégia favorece o parcelamento das doses e a elevação da frequência de aplicação, o que contribui para o atendimento pontual das exigências nutricionais das culturas, ao mesmo tempo em que reduz custos operacionais com mão de obra (CRISÓSTOMO; NAUMOV, 2009).

Além de otimizar o fornecimento de nutrientes, a fertirrigação promove a conservação da estrutura física do solo, minimizando o uso de maquinário agrícola e, consequentemente, a compactação superficial. Essa técnica também apresenta vantagens ambientais relevantes,

uma vez que elementos altamente móveis no solo, como o nitrogênio e o potássio, são aplicados com maior eficiência, reduzindo perdas por lixiviação, fixação e volatilização (PINTO ET AL., 2002; CRISÓSTOMO; NAUMOV, 2009).

Outro benefício associado ao uso da fertirrigação é a possibilidade de sincronização da adubação com os períodos de maior exigência fisiológica das plantas, permitindo ajustes na nutrição ao longo do ciclo fenológico. Essa aplicação contínua e distribuída de água e nutrientes estimula o crescimento radicular em profundidade, além de garantir maior uniformidade na distribuição dos elementos no perfil do solo, favorecendo a absorção e o aproveitamento nutricional pelas plantas (BRUNETTO et al., 2023; SOUSA et al., 2011).

Apesar das inúmeras vantagens agronômicas e ambientais associadas à fertirrigação, a adoção dessa técnica requer um manejo criterioso, sobretudo no que tange a escolha dos fertilizantes e ao controle da qualidade da água de irrigação. O uso inadequado de fertilizantes, seja por incompatibilidade química, solubilidade insuficiente ou aplicação em doses excessivas, pode induzir à salinização do solo, comprometendo a absorção de água pelas raízes e o desenvolvimento fisiológico da planta. Adicionalmente, o monitoramento do pH do solo torna-se indispensável, uma vez que fertilizantes de caráter ácido podem modificar a disponibilidade de micronutrientes, como manganês e zinco, favorecendo a sua solubilização em níveis que ultrapassam a faixa de tolerância da cultura, resultando em toxicidade (SIMÃO; MANTOVANI; SIMÃO, 2004).

A aplicação de nutrientes sem o suporte das análises de solo, e sem considerar as exigências específicas da cultura, pode resultar em desequilíbrios nutricionais, perdas por lixiviação ou fixação, e consequente redução da eficiência produtiva. Tais práticas comprometem não apenas a sustentabilidade ambiental do sistema de cultivo, mas também sua viabilidade econômica. Portanto, o manejo racional da fertirrigação deve estar respaldado por fundamentos técnico-científicos, levando em conta fatores edafoclimáticos, o estágio fenológico da cultura, as propriedades físicoquímicas do solo e o balanço nutricional requerido pela espécie em cultivo (SOUSA et al., 2011).

Dessa forma, a maximização dos benefícios proporcionados pela fertirrigação e a mitigação de seus possíveis efeitos adversos dependem diretamente do desenvolvimento e da adoção de recomendações técnicas específicas. Tais diretrizes devem subsidiar a tomada de

decisão por parte dos produtores, promovendo o uso racional dos insumos agrícolas na fruticultura. Além de ampliar a eficiência no manejo nutricional, essas recomendações são fundamentais para garantir a produtividade das culturas aliada à sustentabilidade dos sistemas de produção.

2.5 Importância Econômica e Potencial Agroindustrial do cajá

As plantas do gênero *Spondias*, como a cajazeira (*Spondias mombin*), têm grande importância econômica, ecológica e social, destacando-se na alimentação, medicina, farmacologia e ciências agrárias. Os frutos destacam-se pelo alto teor de nutrientes, compostos bioativos (taninos, carotenoides, vitamina C) e propriedades antioxidantes e funcionais, conferindo valor nutritivo e funcional relevante, tornando-os uma matéria-prima versátil para a elaboração de diversos produtos alimentícios, incluindo sucos, picolés, sorvetes, geleias, farinhas e bebidas fermentadas. Além do setor alimentício, há aplicações promissoras nas indústrias farmacêutica e nutracêutica, com destaque para a formulação de produtos funcionais e probióticos (OLIVEIRA; SOUSA; ROLIM, 2024; MATTIETTO et al., 2010).

A madeira da cajazeira também pode ser aproveitada em marcenaria, e diversas partes da planta, como folhas, sementes, cascas e raízes, têm sido utilizadas na medicina tradicional para o tratamento de várias doenças, como diabetes, inflamações e distúrbios intestinais. Essa ampla gama de benefícios está associada aos constituintes químicos da planta, como fenóis, taninos, flavonoides e alcaloides, que possuem propriedades farmacológicas comprovadas (OGUNRO et al., 2023).

A produção nacional estimada é de 20 mil toneladas/ano, com a Bahia respondendo por aproximadamente 50% desse volume. Esses frutos são comercializados em mercados, Ceasas e fábricas de polpa nas principais regiões produtoras, como Norte e Nordeste. Todavia, a produção da cajazeira ainda é predominantemente extrativista, associada à agricultura familiar, o que limita seu potencial econômico. No entanto, o interesse crescente pelo cultivo tecnificado da cajazeira tem despertado os produtores para sua exploração comercial. No Piauí, há cerca de 80 hectares de pomares comerciais, refletindo o crescimento dessa atividade (AMARAL et al., 2024; VASCONCELOS et al., 2023).

A cajazeira possui ainda relevância ecológica, sendo encontrada em florestas mistas,

onde compete com espécies ombrófilas. Com iniciativas que incorporam enxertia, poda, adubação e irrigação é possível ampliar sua viabilidade produtiva, contribuindo para a ocupação da mão de obra rural ao longo do ano e fortalecendo sua importância no agronegócio (SOBRINHO et al., 2022).

A alta demanda e aceitação dos produtos derivados do cajá reforçam o seu potencial econômico e funcional, estimulando o desenvolvimento de pesquisas e tecnologias que influenciem o cultivo, garantindo que haja retorno financeiro para o produtor, bem como fortalecendo a cadeia de produção de fruteiras nativas do Brasil, transformando a cajazeira em um ativo rentável no agronegócio.

3. Objetivos

3.1 Objetivo geral

Definir doses de nutrientes capazes de elevar a produtividade da cajazeira irrigada avaliando os impactos nos atributos químicos do solo.

3.2 Objetivos específicos

Definir doses de nitrogênio e potássio, aplicadas via fertirrigação, capazes de elevar a eficiência produtiva e econômica da cajazeira irrigada;

Avaliar a distribuição temporal da colheita, diante do manejo empregado nas plantas;

Avaliar os impactos nos atributos químicos de um latossolo amarelo eutrófico cultivado com a cajazeira sob fertirrigação;

Analisar a viabilidade econômica do modelo de produção da cajazeira com a dose que proporcionar melhor produtividade.

4. Material e métodos

4.1 Caracterização da área

O estudo foi conduzido no Sítio Tukurubá, localizado na microrregião do Boqueirão (Teresina-PI), em área de clima tropical úmido (Aw segundo Köppen), caracterizado por estação seca bem definida no inverno (MEDEIROS; CAVALCANTE; DUARTE, 2020). A

área experimental (coordenadas: 4°54'49.0"S 42°43'55.8"W) apresenta precipitação média anual de 1.327 mm e umidade relativa do ar de 69%. O solo foi classificado como Latossolo Amarelo eutrófico típico (SANTOS et al., 2018), com textura franco-arenosa característica de solos tropicais altamente intemperizados da região

O experimento foi conduzido em um pomar comercial de cajazeira (*Spondias mombin* L.) com quatro anos de idade, já em fase produtiva, cultivado em espaçamento de 10 × 10 m. As mudas foram obtidas a partir de plantas matrizes selecionadas em áreas de extrativismo natural de cajá. Para garantir a homogeneidade do ensaio, foram selecionadas plantas com características vegetativas e produtivas uniformes, incluindo porte e altura similares, padrão de formação de copa equivalente e características morfológicas de frutos consistentes. Estes critérios de seleção objetivaram minimizar a irregularidade intrínseca e potencializar a detecção de respostas aos tratamentos experimentais (Figura 1).



Figura 1. Pomar de cajazeira no sítio Tukurubá, 2020.

Após a seleção das plantas, foram coletadas amostras de solos em toda a área, formando uma amostra composta para análise química e textural nas camadas de 0,0 m a 0,20 m e 0,20 m a 0,40 m (Tabela 1) a fim de diagnosticar a fertilidade do solo, as necessidades e quais dosagens de fertilizantes seriam mais adequadas para o ensaio.

Tabela 1. Características químicas do solo da área experimental. Teresina, 2020.

Profundidade	pH em água	P	K	Na	Ca	Mg	H ⁺ /Al	MO	SB	CTC	V	PST	Areia grossa	Areia fina	Argila	Silte
		mg dm ⁻³			cmolc dm ⁻³			g kg ⁻¹	cmolc dm ⁻³		%		%	%	%	%

0,20m	5,6	29	0,2	0,095	1,7	0,6	1,6	24	2,5	4,1	60,8	2,32	28,67	48,78	9,99	12,5 6
0,40m	5,5	14	0,1	0,063	1,1	0,5	1,6	17	1,7	3,3	51,8	1,91	28,89	42,52	16,15	12,4 4

MO - matéria orgânica; SB – soma de bases; CTC – capacidade de troca de cátions; V - Saturação por bases; PST – porcentagem de sódio trocável.

4.2 Preparo da área Experimental

Antes da instalação do experimento procederam-se as práticas de manejo para influenciar positivamente no desempenho produtivo das plantas associado a adubação, como limpeza nas entre linhas das plantas de cajazeira, por meio de roçagem mecanizada, coroamento na sub copa das plantas utilizando roçadeira manual e poda de produção (Figura 2).



Figura 2. (A) Área de cajá após a roçagem; (B) Poda de produção nas plantas de cajazeira; (C) Plantas após a poda, Sítio Tuteurubá, Teresina, PI.

Para corrigir a acidez do solo, identificada por meio da análise química da área experimental, foi realizada a aplicação de 650 kg ha⁻¹ de calcário dolomítico, conforme recomendação baseada nos parâmetros de acidez potencial e saturação por bases. Para suprir as exigências de micronutrientes da cultura, foram aplicados, por planta, 60 g do fertilizante FTE BR-12 e 50 g de ácido bórico.

4.3 Delineamento Experimental

O experimento foi instalado em 2020 utilizando delineamento em blocos casualizados completos, com 11 tratamentos e 3 repetições (blocos). Cada parcela experimental consistiu de três plantas úteis consecutivas em linha, totalizando 33 plantas por bloco e 99 plantas no experimento (11 tratamentos × 3 blocos × 3 plantas)

Foram avaliadas diferentes doses de nitrogênio (N), fósforo (P₂O₅) e potássio (K₂O), aplicando-se: N e K₂O nas doses de 0, 90, 103, 135, 167 e 180 kg ha⁻¹; e P₂O₅ nas doses de 0, 80 e 170 kg ha⁻¹. O esquema experimental consistiu em nove tratamentos em arranjo fatorial duplo (N × K₂O) com dose fixa de P₂O₅ (170 kg ha⁻¹), mais dois tratamentos adicionais (controle absoluto 0-0-0 e referência 135-80-135 kg ha⁻¹ de N-P₂O₅-K₂O) (Tabela 2).

Tabela 2. Tratamentos: combinações de doses de nitrogênio, fósforo e potássio.

Tratamentos	Doses de nutrientes (kg ha ⁻¹)		
	Nitrogênio (N)	Fósforo (P ₂ O ₅)	Potássio (K ₂ O)
T1	135	170	135
T2	103	170	103
T3	103	170	167
T4	167	170	167
T5	167	170	103
T6	90	170	135
T7	180	170	135
T8	135	170	90
T9	135	170	180
T10	0	0	0
T11	135	80	135

Como fontes de N, P₂O₅ e K₂O foram utilizados ureia, superfosfato simples e cloreto de

potássio, respectivamente. A ureia e o cloreto de potássio foram aplicados via fertirrigação, enquanto o superfosfato simples foi distribuído manualmente na projeção da copa, com duas aplicações mensais parceladas (Figura 3).



Figura 3. Plantas de cajá após a aplicação de SFS na sub-copa das plantas.

4.4 Sistema de irrigação

O sistema de irrigação utilizado foi microaspersão com 2 microaspersores por planta, instalados de forma equidistante a 1,5 m do caule (Figura 4). A vazão nominal do microaspersor é de 50 L h⁻¹ e raio de alcance de 2,5 m.



Figura 4. Sistema de microaspersão instalado para as cajazeiras no sítio Tukurubá.

A quantidade de água aplicada na cajazeira foi estimada com base na evapotranspiração

de referência (ET_0) da região de Teresina-PI, com aplicação de água na frequência diária. Para facilitar a aplicação de água, o tempo de irrigação (T_i) foi assim definido por período: (1) período de 15/06 a 15/07, $T_i = 1,0$ h; (2) período de 16/07 a 30/09, $T_i = 1,5$ h; (3) período de 01/10 a 31/12, $T_i = 2,0$ h. Ressalta-se que nos dias que ocorreram precipitações pluviométricas os tempos de irrigação foram redefinidos, principalmente nos meses de janeiro a março, período de maior concentração de chuvas.

4.5 Fertirrigação

As doses de nitrogênio e potássio foram aplicadas via fertirrigação. Para isso, o sistema de irrigação foi projetado para permitir a aplicação individualizada dos tratamentos (Figura 8). A injeção das soluções fertilizantes foi realizada utilizando um injetor tipo Venturi de $\frac{3}{4}$ " (19 mm), instalado no cabeçal de controle do sistema. Os fertilizantes (ureia e cloreto de potássio) foram previamente misturados e diluídos em um tanque plástico de 60 litros. O tempo de aplicação da solução fertilizante foi padronizado em 45 minutos, com o injetor devidamente calibrado para garantir a uniformidade de distribuição.

As doses de nitrogênio e potássio foram aplicadas via fertirrigação. Para isso, o sistema de irrigação foi projetado para permitir a aplicação individualizada dos tratamentos (Figura 5). A injeção das soluções fertilizantes foi realizada utilizando um injetor tipo Venturi de $\frac{3}{4}$ " (19 mm), instalado no cabeçal de controle do sistema. Os fertilizantes (ureia e cloreto de potássio) foram previamente misturados e diluídos em um tanque plástico de 60 litros. O tempo de aplicação da solução fertilizante foi padronizado em 45 minutos, com o injetor devidamente calibrado para garantir a uniformidade de distribuição.

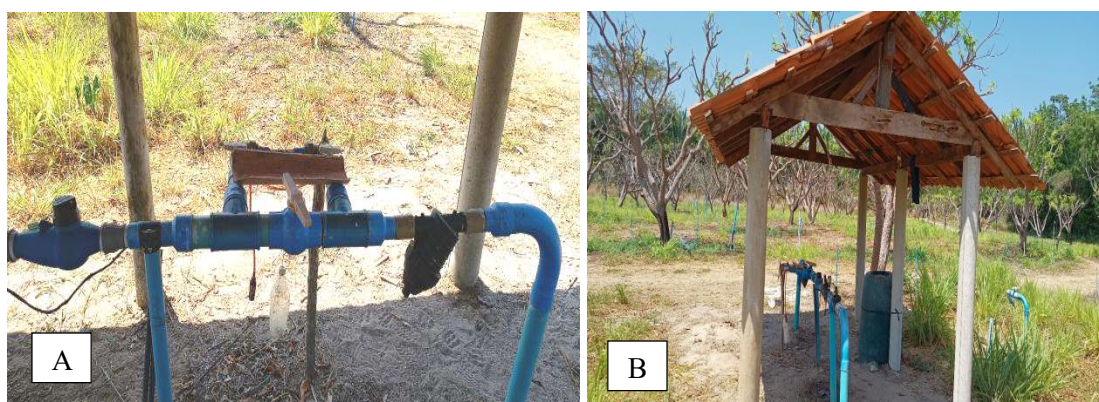




Figura 5. (A) Sistema Venturi; (B) Cabeçal de controle do sistema de irrigação/fertirrigação; (C) trabalhador fazendo a mistura da solução para fertirrigação das plantas de cajá; (D) planta após a fertirrigação.

As doses (tratamentos) foram parceladas em 8 aplicações mensais, com diferentes percentagens de nutrientes ao longo do ciclo, a fim de atender a demanda nutricional das plantas de acordo com as fases do ciclo (Figura 6).

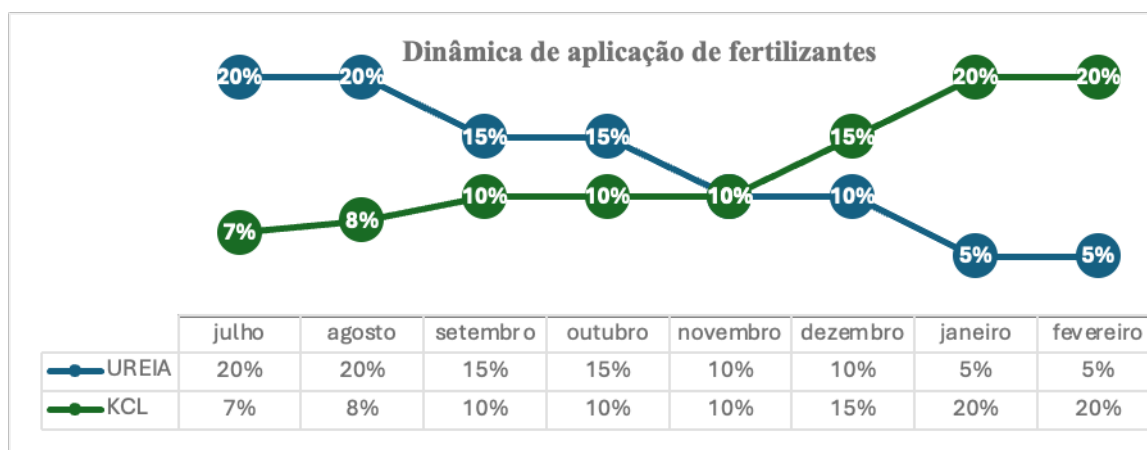


Figura 6. Distribuição percentual de ureia e cloreto de potássio aplicados no ciclo de produção da cajazeira via fertirrigação.

4.6 Colheita e avaliação da produtividade da cajazeira

Os dados de produtividade da cajazeira referem-se a safra 2023. A colheita do cajá iniciou no mês de janeiro e se estendeu até o mês de abril com maior concentração entre a segunda quinzena de março e a primeira quinzena de abril.

A colheita do cajá foi feita de forma manual, diariamente, coletando por planta, somente os frutos caídos no chão (Figura 7). Após a colheita os frutos foram pesados e os valores

registrados em planilha para análise estatística da produtividade.



Figura 7. (A) frutos de cajá maduros na planta; (B) frutos de cajá recolhidos.

4.7 Análise estatística da produtividade

Realizou-se inicialmente a análise de resíduos para verificar a presença de outliers, heterocedasticidade e o ajuste dos resíduos à distribuição normal (Nogueira, 2007). A análise de variância por regressão foi conduzida conforme Pimentel-Gomes (2009) e Zimmermann (2014), adotando-se um modelo com efeitos lineares e quadráticos isolados, além de suas interações (Eq. 1)

$$\text{Eq.1: } Y = b_0 + b_1A + b_2A^2 + b_3B + b_4B^2 + b_5AB + b_6AB^2 + b_7A^2B + b_8A^2B^2$$

Em que: Y - variável dependente; b_0 - constante de regressão; $b_1, \dots, b_8$ - coeficientes da regressão; A e B - variáveis independentes, constituídas pelos níveis de nitrogênio e potássio, respectivamente.

Em função do teste t, obteve-se a seleção do melhor modelo com o auxílio das significâncias de cada parâmetro, aceitando nível de significância até o limite de 10% de probabilidade (CONAGIN e JORGE, 1982). As análises foram realizadas utilizando-se o software R Core Team (2020).

4.8 Avaliação dos atributos químicos do solo

Para avaliar os atributos do solo, foram utilizadas amostras coletadas após a colheita da safra de 2023. Em cada parcela experimental, coletou-se uma amostra composta por repetição, nas camadas de 0,0-0,20 m e 0,20-0,40 m, a 1 m do caule das plantas. As amostras foram analisadas conforme metodologia de Teixeira et al. (2017).

Nesse sentido, foram determinados macro e micronutrientes para verificar possíveis acúmulos minerais nas diferentes camadas, além de outros parâmetros químicos indicadores da qualidade do solo: pH, matéria orgânica, CTC, soma de bases, magnésio, alumínio e (H+Al).

4.9 Análise estatística dos atributos químicos do solo

Para avaliar a qualidade do solo após a adubação, selecionaram-se as variáveis edáficas (pH, P, K, Ca, Mg e MO) que apresentaram maior variabilidade, além dos dados de produtividade, considerando os nove tratamentos e duas testemunhas adicionais. As análises estatísticas empregadas foram a Análise de Componentes Principais (ACP) (JOLLIFFE, 1986) e análise de agrupamento hierárquico utilizando a distância euclidiana com método de Ward (WARD, 1963).

A análise dos resultados da ACP baseou-se na representação gráfica (Biplot) dos eixos componentes, considerando simultaneamente o parâmetro Cos^2 (indicador da qualidade de representação) e as contribuições percentuais de variância explicada por cada variável. As variáveis com maior correlação com CP1 e CP2 foram as mais relevantes para explicar a variabilidade dos dados, apresentando elevados valores de Cos^2 e contribuição (%), o que indica sua boa representação nos componentes principais (ABID; WILLIAMS, 2010).

As análises foram realizadas pelo Software R de computação estatística (R CORE TEAM, 2020) utilizando os pacotes “FactoMineR” (LÊ; JOSSE e HUSSON, 2008), “factoextra” (KASSAMBARA; MUNDT, 2020) e “dendextend” (GALILI, 2015).

4.10 Avaliação econômica

A estimativa dos custos de produção da cajazeira fundamentou-se na operacionalização dos recursos econômicos, conforme procedimentos sugeridos por Reis (2007) e CONAB (2020), considerando como despesas de custeio os insumos e serviços ao longo de 7 anos de

cultivo de 1,0 ha da cajazeira irrigada.

As despesas de custeio incluíram os insumos utilizados na implantação e manutenção do pomar: adubos, produtos fitossanitários, mudas, além de outros custos operacionais como consumo de água e análises de solo. Os valores foram calculados multiplicando o preço unitário de cada produto pela quantidade utilizada, considerando os valores médios praticados na região de Teresina-PI no período de 2020 a 2024, com base na adubação que apresentou melhor desempenho produtivo (T4 - 167-170-167 kg ha⁻¹ de NPK). Para os custos com serviços, foram computados os gastos com mão-de-obra diária necessária para as atividades de manejo do pomar durante o ciclo produtivo, expressos em dias-homem (d/H).

Além disso, os custos incluíram o fator de depreciação do cultivo (Eq. 2), considerando que as frutíferas apresentam uma redução gradual na capacidade produtiva ao longo do tempo, em decorrência do desgaste natural resultante da exploração intensiva. Da mesma forma, foi considerada a depreciação dos equipamentos de irrigação (Eq. 3), que sofrem deterioração progressiva ao longo do período de uso.

O cálculo para exaustão/depreciação do cultivo se dá através da seguinte fórmula (Eq. 2):

$$Eq.2: EC = \frac{\sum CV - \sum RC}{VU}$$

Em que, EC: Exaustão do cultivo (R\$/ha), CV: Custos Variáveis dos anos anteriores (R\$/ha), RC: Receitas anos anteriores (R\$/ha), VU: Vida útil do pomar em anos.

Para a depreciação do eq. de irrigação:

$$Eq.3: DP = \left(\left(VN \times \frac{1 - VR}{VUH} \right) \times H \right)$$

Em que, DP: Depreciação (Equipamentos) (R\$/ha), VN: Valor do bem novo (R\$), VR: Valor residual do bem (%), VUH: Vida útil em horas, H: Horas trabalhadas por hectare(h/ha).

No cálculo da receita, considerou-se, como preço médio recebido pelo produtor, R\$ 5,00 por quilo, conforme levantamento de preços junto aos produtores da região referentes a venda do cajá in natura. O valor total foi obtido mediante a multiplicação da produtividade

das plantas de cajá no tratamento 4, no decorrer dos 3 anos, haja vista que no ano de 2021 as plantas estavam no quarto ano de cultivo.

Em relação ao consumo de água, estimou-se o valor por meio da multiplicação da vazão dos microaspersões/dia (50L h^{-1}) e as diferentes lâminas de irrigação aplicadas ao longo do ano, conforme necessidade e o regime de chuvas da região, que é concentrado ao longo de 4 meses (janeiro a abril).

Para a análise financeira, foram considerados indicadores de viabilidade econômica Valor Presente Líquido (VPL) (Eq. 4) e Taxa Interna de Retorno (TIR) (ASSAF E LIMA, 2014).

Eq. 4: Valor presente líquido (VPL)

$$VPL = \sum_{t=1}^n \frac{Rt - Ct}{(1 + i)^t} - I_0$$

$$0 = \sum_{t=1}^n \frac{Rt - Ct}{(1 - TIR)^t} - I_0$$

Em que: VPL = valor presente líquido, R\$; Rt = receita em cada ano, R\$; Ct = custo em cada ano; I_0 = investimento inicial; n = tempo de vida útil do projeto em anos; i = taxa mínima de atratividade (TMA) (ou taxa de desconto); t = tempo ou período em anos; TIR = taxa interna de retorno.

Para o investimento ser considerado viável, o VPL deve ser positivo, e quanto maior o VPL, mais atrativo é o investimento. No caso da TIR, o valor em % deve ser superior a taxa de atratividade utilizada (GALEANO; GOMES, 2018). Para os cálculos dessas variáveis foi utilizado o programa Excel, considerando uma taxa de atratividade comumente utilizada de 10%.

Foi calculado também outro índice que utilizado para mensurar o retorno por unidade de capital investido, chamado índice benefício-custo (IBC), a partir da seguinte equação, proposta por Silva e Alves (2018):

$$Eq.5: IBC = \left(\frac{\sum VPL}{\sum VPI} \right)$$

Em que, IBC: índice benefício-custo, VPL: valor presente dos fluxos líquidos, VPI:

valor presente dos fluxos de investimento.

5. Resultados e discussão

5.1 Produtividade da cajazeira

Os valores médios de produtividade de frutos da cajazeira sob diferentes doses de nitrogênio (N), fósforo (P_2O_5) e potássio (K_2O) variaram de 0,356 t ha⁻¹ (90 kg ha⁻¹ de N, 170 kg ha⁻¹ de P_2O_5 e 135 kg ha⁻¹ de K_2O) à 4,381 t ha⁻¹ (167 kg ha⁻¹ de N, 170 kg ha⁻¹ de P_2O_5 e 167 kg ha⁻¹ de K_2O) (Tabela 3). A maior produtividade foi observada no tratamento 4, que recebeu 167, 170 e 167 kg ha⁻¹ de N, P e K, respectivamente, resultando em 43,81 kg por planta, o que equivale a 4,381 t ha⁻¹.

Tabela 3. Médias de produtividade de frutos da cajazeira em função da combinação de diferentes doses de nitrogênio (N) e potássio (K_2O) aplicadas por fertirrigação e fósforo (P_2O_5) aplicado manual. Teresina – PI, 2023.

Tratamentos				Produtividade (t ha ⁻¹)
Identificação	Doses (kg ha ⁻¹)			
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
T1	135	170	135	1,951
T2	103	170	103	1,789
T3	103	170	167	1,628
T4	167	170	167	4,381
T5	167	170	103	2,494
T6	90	170	135	0,356
T7	180	170	135	2,413
T8	135	170	90	1,598
T9	135	170	180	2,947
Média				2,173
Tratamentos Adicionais				
T10	0	0	0	0,464
T11	135	80	135	0,605
Média				0,535

A menor produtividade observada foi registrada no tratamento T6, com média de 0,356

t ha⁻¹. Esse desempenho inferior pode estar associado à aplicação da menor dose de nitrogênio (N), indicando resposta limitada da cultura à adubação nitrogenada insuficiente. Em contraste, no tratamento 8 (T8), que recebeu a menor dose de potássio (K), a produtividade foi significativamente superior (1,598 t ha⁻¹), evidenciando que, nas condições experimentais, o N teve papel mais determinante para o rendimento da cultura do que o potássio.

Ao avaliar os tratamentos adicionais, observou-se que a resposta da cajazeira foi significativamente inferior com a redução de P (fósforo), resultado esperado, haja vista que o fósforo é essencial para processos fisiológicos como a formação de ATP, a integridade das membranas celulares e a síntese de ácidos nucleicos. Sua deficiência pode comprometer o desenvolvimento radicular, reduzir o pegamento floral e a frutificação, além de afetar a viabilidade das sementes (DEVECHIO, 2023).

A análise de variância confirmou que a produtividade da cajazeira foi significativamente influenciada pelas doses de N, P₂O₅ e K₂O (p < 0,01, Tabela 4). Além disso, a interação entre os tratamentos e as testemunhas revelou um efeito significativo (p < 0,01), ou seja, há diferença estatística entre o fatorial e os tratamentos adicionais.

Tabela 4. Análise de variância da produtividade de cajá e a interação entre os tratamentos em fatorial e os adicionais.

Fontes de Variação	Grau de Liberdade	Quadrado Médio
Fatorial (Fat)	8	365.98 **
Adicional (Ad)	1	2.97 ns
Fat vs Ad	1	1317.58**
Tratamentos	10	424.84 **
Blocos	2	293.55 **
Erro	20	8,93
C.V. (%)	15,93%	

F.V.: fontes de variação; GL: grau de liberdade; CV: coeficiente de variação. Níveis de significância pelo teste “F”: *:significativo a (0.01 < p ≤ 0.05); **: significativo a (p ≤ 0.01); ns: não significativo a (p > 0.05).

Os resultados obtidos neste estudo estão em consonância com as estimativas de produtividade reportadas por Bosco et al. (2000), os quais indicaram que a cajazeira apresenta

uma média produtiva de 5 t ha⁻¹ a partir do quarto ano de cultivo, podendo alcançar até 10 t ha⁻¹ após a estabilização do pomar, estimada por volta do oitavo ano, dependendo das condições edafoclimáticas da região. De forma complementar, Feitosa (2007), ao avaliar a produtividade de cajazeiras submetidas à aplicação de 148,06 kg ha⁻¹ de K₂O e 30 g planta⁻¹ de P₂O₅, obteve produtividade máxima de 8,429 t ha⁻¹ após nove anos de cultivo.

No presente trabalho, a maior produtividade registrada foi de 4,381 t ha⁻¹, após sete anos de implantação do pomar — valor que se aproxima do estimado por Bosco et al. (2000), embora inferior ao observado por Feitosa (2007) no estado da Paraíba. Essa discrepância pode ser atribuída a diversos fatores, incluindo a variabilidade genética e fisiológica dos materiais vegetais utilizados, uma vez que *Spondias mombin* ainda não conta com cultivares comerciais oficialmente registradas. O cultivo, tanto no presente experimento quanto nos estudos anteriores, baseia-se majoritariamente em clones oriundos de populações silvestres, o que implica variações fenotípicas significativas (SOUZA; SOARES; INNECO, 2017). Ademais, diferenças nas características minerais dos solos, nos regimes climáticos regionais e nas combinações de fertilizantes empregados podem impactar diretamente o desempenho produtivo da espécie (FREITAS et al., 2018), sobretudo em plantas com hábito silvestre e adaptabilidade variável, como as plantas do gênero *Spondias*.

Na análise de regressão, os resultados demonstraram relações não lineares entre as doses de N e K₂O e a produtividade da cajazeira (Tabela 5), adotando-se um modelo contendo os efeitos isolados linear e quadrático e pelas interações duplas de primeiro e segundo grau. O modelo ajustado foi significativo em todas as interações, exceto no efeito linear de N, ajustado com R² = 0,88. A equação de regressão (Eq. 1) indicou um ponto crítico de sela nas doses de 157,81 kg ha⁻¹ de N e 98,9 kg ha⁻¹ de K₂O, alcançando a produtividade de 1,994 t ha⁻¹ e ponto máximo absoluto nas combinações de 180 kg ha⁻¹ de N e K₂O, com produtividade estimada de 5,356 t ha⁻¹.

Tabela 5. Parâmetros da equação de regressão para a produtividade de frutos da cajazeira sob aplicação de diferentes doses de nitrogênio e potássio por fertirrigação, Teresina-PI. 2023.

Parâmetros da equação de regressão									
Variável	Inter.	N	K	N ²	K ²	N ² K	Ponto Crítico		V. E. (kg/planta)
Prod	68.1919	0.4850 ^{ns}	- 1.1485 ^{**}	- 0.00334 ^{**}	+ 0.003511 ^{**}	+ 0.000018 ^{**}	N	K	R ²
Ponto de sela							157,8	98,7	19,94
Ponto de máximo absoluto							180	180	53,56

** - significativo a ($p \leq 0.01$); ^{ns} – não significativo; * - significativo a ($0.10 \geq p > 0.05$); prod.- produtividade; inter.- intercessão; V. E – valor estimado de produtividade em kg/planta.

Eq. 1: $Y = 68,1919 + 0,4850 N - 1,1485 K - 0,00334 N^2 + 0,003511 K^2 + 0,000018 N^2K$, em que: Y – é a produtividade de frutos da cajazeira (kg ha^{-1}); N – é o nutriente nitrogênio (kg ha^{-1}); K – é o nutriente potássio (kg ha^{-1}).

A detecção de relações não lineares entre as doses de N e K_2O e a produtividade da cajazeira, revelada por um modelo quadrático com interações duplas, é um achado esperado e de grande relevância agrônômica. Este comportamento reflete a complexidade do metabolismo vegetal e a "Lei dos Fatores Limitantes", que postula que o crescimento da planta é limitado pelo nutriente mais escasso em relação à sua demanda, mas que o excesso de um nutriente também pode ser prejudicial (MALAVOLTA et al., 1997).

A identificação de um ponto crítico de sela ($157,81 \text{ kg ha}^{-1}$ de N e $98,9 \text{ kg ha}^{-1}$ de K_2O , com $1,994 \text{ t ha}^{-1}$) evidencia a existência de combinações de doses subótimas onde um nutriente pode se tornar limitante ou tóxico, mesmo com o aumento do outro, gerando um desequilíbrio nutricional que impede o pleno desenvolvimento da cultura. Por outro lado, o ponto máximo absoluto (180 kg ha^{-1} de N e K_2O , com $5,356 \text{ t ha}^{-1}$) representa a sinergia ideal entre esses dois macronutrientes.

O nitrogênio, crucial para o crescimento vegetativo e a fotossíntese, deve estar em equilíbrio com o potássio, que desempenha papel vital na translocação de fotoassimilados para os frutos, no balanço hídrico e na resistência a estresses (EPSTEIN; BLOOM, 2005). Assim, a produtividade da cajazeira não é uma função linear crescente, mas sim um balanço delicado que, quando otimizado, maximiza a produção de frutos de forma eficiente e sustentável (TAIZ; ZEIGER, 2010).

Além disso, a irrigação pode ter exercido papel fundamental na eficiência da adubação, principalmente no caso do P, um nutriente pouco móvel no solo, cuja disponibilidade e absorção pelas raízes podem ser significativamente ampliadas pela presença de umidade no perfil. Segundo Almeida e autores (2011), a irrigação melhora o deslocamento do fósforo para camadas mais profundas do solo, tornando-o mais acessível às raízes ativas e, conseqüentemente, mais eficaz para o desenvolvimento das plantas.

Pereira e autores (2019) destacam a irrigação e a fertirrigação, especialmente, a fertirrigação associada a sistemas de irrigação localizada, como uma estratégia eficaz na

mobilização de nutrientes para plantas, permitindo a distribuição pontual e gradual de fertilizantes próximo às raízes. Dessa forma, evitando dosagens excessivas e proporcionando maiores respostas fisiológicas das plantas ao manejo empregado.

O gráfico descrito na Figura 8, obtido a partir da equação de regressão apresenta uma visão bidimensional, ligando doses de N e K₂O, eixos X e Y, respectivamente, formando linhas de contorno de respostas constantes. Os valores em cada linha demonstram a produtividade de frutos da cajazeira (kg planta⁻¹) estimados para as respectivas combinações de N e K₂O que se interligam.

No gráfico, foram destacados o ponto de sela e o ponto de produtividade máxima estimados pela regressão. Observa-se que variações expressivas na produtividade ocorreram mesmo com pequenas variações de K₂O, enquanto a dose de N variou amplamente (98 a 180 kg ha⁻¹), sugerindo que o N foi o nutriente de maior influência sobre a produtividade da cajazeira.

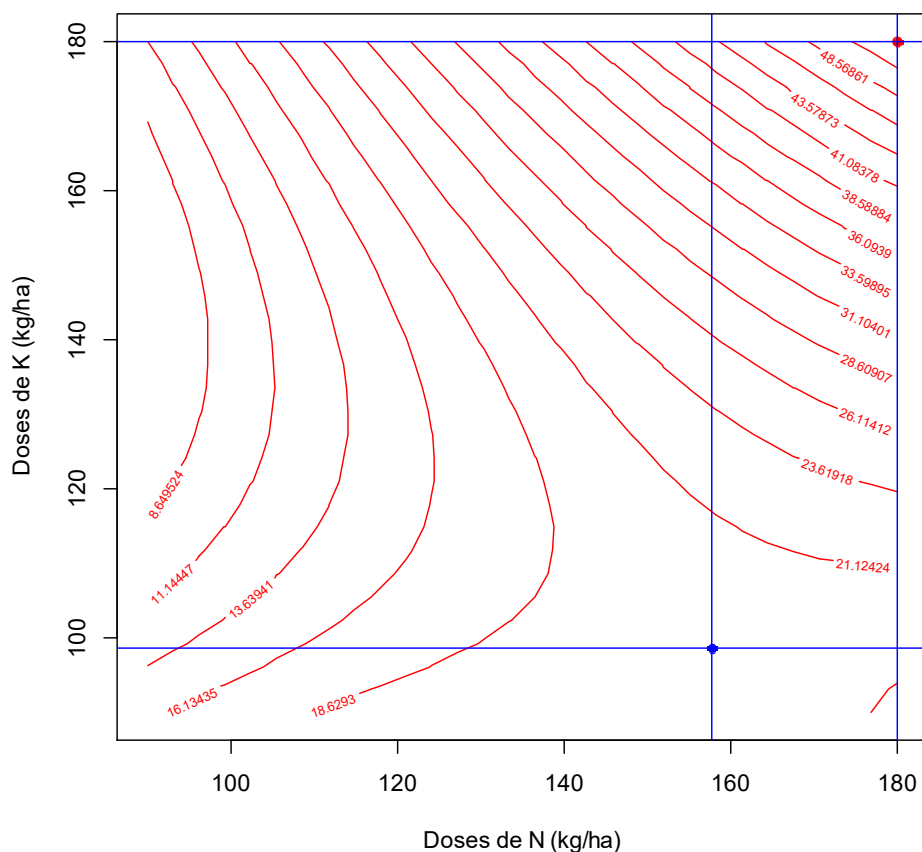


Figura 8. Gráfico de contorno referente ao efeito de diferentes doses de nitrogênio (N) e

potássio (K_2O) aplicadas por fertirrigação na produtividade de frutos da cajazeira ($kg\ planta^{-1}$).

A limitação de estudos relacionados a adubação de plantas de cajá em fase de produção representa um desafio para a análise comparativa dos resultados obtidos neste trabalho, tendo em vista que a maior parte dos resultados de pesquisas disponíveis na literatura são relativos às fases iniciais de desenvolvimento das plantas da cajazeira ou de outras Spondias, com foco no estabelecimento de mudas ou demandas nutricionais iniciais (KEPP et al., (2023); ANDRADE et al.,2013).

Estudos envolvendo outras Spondias como o umbuzeiro (*Spondias tuberosa*) evidenciam que a disponibilidade de nutrientes exerce papel determinante no crescimento e na alocação de biomassa nas plantas em desenvolvimento. Neves et al. (2007) observaram que doses elevadas de potássio aplicadas ao solo interferiram negativamente no crescimento de mudas de umbuzeiro, enquanto as doses reduzidas de nitrogênio provocaram amarelecimento das folhas mais velhas e crescimento limitado, sintomas típicos de deficiência desse nutriente. A medida que as doses de N foram elevadas, verificou-se aumento no crescimento das mudas, com resposta do tipo quadrática, ou seja, ganhos progressivos até um ponto de máxima eficiência, seguido de decréscimo com doses excessivas.

Esses resultados foram confirmados também por Neves et al. (2007), que identificou valores estimados de $294\ mg\ dm^{-3}$ e $286\ mg\ dm^{-3}$ de N como os responsáveis pelas maiores produções de matéria seca foliar e caulinar, respectivamente, mesmo sem diferença significativa no diâmetro do caule. O aumento na matéria seca foi atribuído ao crescimento em altura, indicando que a resposta morfológica pode não ser expressa uniformemente por diferentes órgãos da planta.

Adicionalmente, a distribuição percentual da biomassa entre raízes, caule e folhas, na dose de máxima produção de matéria seca total, revelou alocação preferencial para o sistema radicular (58,1%), seguida por caule (20,2%) e folhas (21,7%), segundo Neves e autores (2007). Esse padrão pode ser interpretado como uma estratégia fisiológica adaptativa da espécie, que aloca reservas em estruturas subterrâneas, como os xilopódios, associadas ao armazenamento de água, nutrientes e compostos orgânicos, fundamentais para a sobrevivência em ambientes sujeitos a estresse hídrico (MENDES, 1990).

De modo semelhante, Silva et al. (2005) relataram que plântulas de umbu cultivadas sob tratamentos completos apresentaram maior crescimento em altura e diâmetro do que aquelas submetidas à omissão de macronutrientes. As exclusões de N, P e Ca foram as que mais limitaram o desenvolvimento, reforçando o papel crítico desses nutrientes nas fases iniciais de crescimento.

Com relação à cajazeira, Silva et al. (2024) verificaram que o nitrogênio exerce maior influência no crescimento inicial das plantas, tanto em termos biométricos quanto de acúmulo de biomassa. A aplicação de potássio e a interação entre $N \times K_2O$ não resultaram em efeitos significativos sobre esses parâmetros, o que indica menor exigência por K nas fases vegetativas precoces. Tal comportamento é compatível com a função fisiológica do potássio, cuja principal atuação se dá nos estágios reprodutivos, como a frutificação, período em que a demanda por esse nutriente aumenta devido ao seu papel no transporte de fotoassimilados e no enchimento dos frutos (IMAS; WIENDL, 2013). Apesar disso, os resultados obtidos neste trabalho, ao avaliar plantas adultas de cajazeira, reforçam que o N continua sendo o nutriente mais determinante para o desempenho produtivo da espécie, mesmo em condições mais avançadas de desenvolvimento..

5.2 Distribuição temporal da colheita e da produção de frutos da cajazeira

Nas condições ambientais de Teresina - PI, a colheita da cajazeira se inicia no mês de janeiro e se estende até final do mês de abril (Figura 9). Durante o procedimento da colheita do cajá, constatou-se que poucas plantas disponibilizaram frutos para serem colheitas do mês de janeiro; todavia, até o final mês de fevereiro quase todas as plantas já disponibilizavam frutos caídos para a colheita. Inicialmente, no primeiro mês as plantas produzem pouco. No mês de fevereiro o índice de produção aumenta atingindo a máxima produtividade por unidade produtiva no mês de março. Esse comportamento acontece para todos os tratamentos, indicando que as diferentes doses de nutrientes não influenciam no perfil de distribuição temporal da cajazeira.

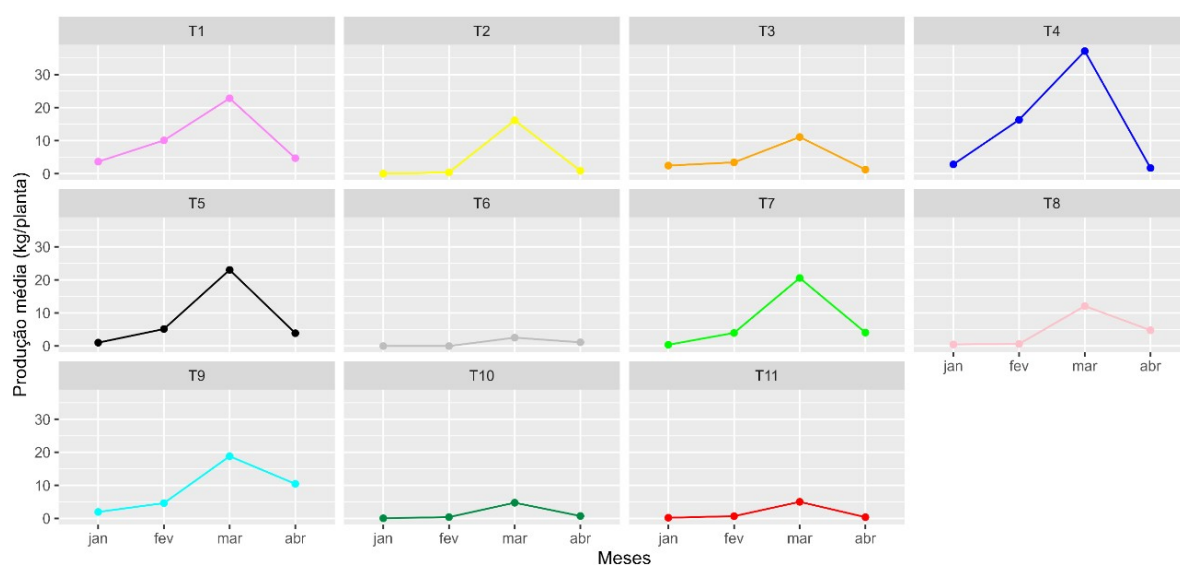


Figura 9. Perfil de distribuição temporal (mensal) da safra do ano de 2023 de frutos da cajazeira em função das diferentes doses de nitrogênio, fósforo e potássio (tratamentos: T1, T2, e T11).

O padrão de colheita observado para a cajazeira está de acordo com o comportamento fenológico geralmente relatado nas principais regiões produtoras da espécie. Essa sincronização entre o ciclo reprodutivo da planta e a sazonalidade climática é um aspecto relevante do cultivo. De modo geral, a floração da cajazeira ocorre durante o período seco, enquanto a frutificação e a colheita coincidem com os meses de maior precipitação. No caso do município de Teresina, por exemplo, a colheita concentra-se nos meses de chuvas intensas, o que reforça a influência direta do regime pluviométrico sobre a maturação dos frutos.

Segundo Sacramento e Souza (2009), essa relação também se verifica em outros estados do Nordeste, como Ceará e Bahia, onde a duração e a intensidade das chuvas exercem efeito direto sobre o período de colheita. Já em regiões de clima equatorial úmido, como Manaus e Belém, a produção de frutos pode ocorrer ao longo de todo o ano; contudo, registra-se um pico de produtividade entre os meses de agosto e dezembro, período associado a condições ambientais mais favoráveis à frutificação, que, em geral, também coincidem com a estação chuvosa local.

Essa informação apresenta relevância significativa no contexto do planejamento das práticas de adubação, uma vez que a definição temporal do ciclo reprodutivo da cajazeira estabelece um período concentrado e previsível de maior exigência nutricional pela planta.

Diante disso, estratégias generalistas ou baseadas em aplicações contínuas ao longo do ciclo tendem a ser ineficazes, comprometendo o aproveitamento dos insumos e a eficiência fisiológica da cultura. O conhecimento prévio da fase de maior demanda permite ajustar o fornecimento de nutrientes de forma sincronizada com as exigências fenológicas da planta, otimizando o manejo e reduzindo desperdícios.

Adler e Kielpinski (2000) conduziram um ensaio sobre a fenologia reprodutiva de *Spondias mombin* em seis pequenas ilhas no Lago Gatun, zona central do Panamá. Os autores realizaram censos mensais da atividade reprodutiva, registrando a presença de flores, frutos imaturos e frutos maduros. A área estudada apresenta um regime climático bem definido, com estação seca intensa de dezembro a abril e precipitação anual de aproximadamente 2600 mm concentrada na estação chuvosa de maio a dezembro. Eles observaram que as cajazeiras apresentaram padrões reprodutivos altamente sazonais e sincronizados em diferentes populações, fortemente associados a estímulos ambientais, como a variação de irradiância e umidade do solo.

No contexto da cajazeira cultivada em ambientes tropicais como Teresina, a integração da distribuição temporal da frutificação ao manejo da fertilidade do solo constitui uma abordagem fundamental para o aprimoramento da eficiência do uso de nutrientes na cajazeira, que ainda carece de estratégias nutricionais ajustadas às suas particularidades fenológicas e às limitações edafoclimáticas da região de cultivo.

5.3 Atributos químicos do solo

A dinâmica de nutrientes no perfil do solo é essencial para o delineamento de estratégias eficientes de adubação, facilitando o ajuste de doses específicas à capacidade de absorção pelas plantas, melhorando a eficiência de uso dos insumos. Além disso, a análise integrada de atributos físico-químicos é fundamental para compreender os efeitos das práticas de manejo sobre a disponibilidade de nutrientes e a qualidade do solo, impactando não apenas na produtividade, mas também na sustentabilidade dos sistemas agrícolas (SIMON et al., 2022; WERLE; GARCIA; ROSOLEN, 2008).

Além disso, os atributos que inferem qualidade do solo devem ser avaliadas com base

na finalidade da área. Autores como Simon et al.(2022) afirmam que não há consenso em relação aos atributos que melhor indicam as condições do solo, referenciando apenas a relação holística entre as características químicas, físicas e biológicas. Neste trabalho, foram considerados exclusivamente atributos químicos e físicos do solo, como pH, disponibilidade de macro e micronutrientes, saturação por bases e características relacionadas à fertilidade e a textura da área.

De modo geral, os resultados demonstraram uma distribuição homogênea dos minerais ao longo do perfil, com Mg, Na, e MO (matéria orgânica) em faixas baixas a médias, de acordo com os critérios de interpretação propostos por Sobral et al. (2015), nas duas camadas de solo avaliadas (0,00 a 0,20m e 0,20 a 0,40 m). Os nutrientes de valores altos a médios foram Ca, K e P, principalmente na camada mais superficial (Tabela 6).

Em relação ao pH, as análises demonstraram valores predominantemente na faixa ideal para a maioria dos minerais, variando entre 5,68 a 6,61, nas duas camadas avaliadas. Contudo, é fundamental reconhecer que a disponibilidade de nutrientes não é determinada exclusivamente pelo pH, mas também pela complexa interação entre a química do solo e os mecanismos de absorção radicular, que podem influenciar a absorção de elementos de forma independente ou antagônica (BARROW; HARTEMINK, 2023)

Tabela 6. Valores médios pH, fósforo (P), potássio (K), sódio (Na), cálcio (Ca), magnésio (Mg), hidrogênio + alumínio (H+Al) e matéria orgânica (MO) referentes a análises químicas de cada tratamento na camada de 0,00 m a 0,20 m.

Trat.	Doses (kg ha ⁻¹)			Atributos químicos do solo na camada 0,00 m - 0,20 m.							
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	pH em água	P	K	Na	Ca	Mg	H+Al	MO
					mg dm ⁻³			cmol _c dm ⁻³			g kg ⁻¹
T1	135	170	135	6,27	74,302	49,629	0,249	6,903	0,294	2,392	10,87
T2	103	170	103	6,49	137,352	50,527	0,496	6,736	0,206	1,755	8,42
T3	103	170	167	6,15	121,014	49,492	0,198	4,11	0,29	1,846	8,59
T4	167	170	167	6,34	93,765	32,691	0,279	4,206	0,33	2,048	10,22
T5	167	170	103	6,59	72,424	60,262	0,272	4,779	0,472	1,809	8,44
T6	90	170	135	5,94	115,634	22,002	0,031	3,235	0,25	2,012	6,89
T7	180	170	135	6,32	85,817	30,086	0,19	3,699	0,219	1,965	8,42
T8	135	170	90	6,01	110,735	24,858	0,043	3,193	0,237	2,101	8,13
T9	135	170	180	6,51	129,801	46,621	0,173	4,353	0,303	2,424	12,14
T10	0	0	0	6,61	42,425	28,519	0,043	3,138	0,355	1,456	8,08
T11	135	80	135	6,22	95,235	17,227	0,026	3,632	0,282	1,518	8,72

Fósforo (P) foi o nutriente com maior acúmulo nas duas camadas analisadas. Na profundidade de 0,00–0,20 m, o tratamento T2 apresentou a maior concentração de P (137,35 mg dm⁻³), enquanto, na profundidade de 0,20–0,40 m, o maior valor foi registrado no tratamento T3 (129,00 mg dm⁻³). Considerando a aplicação superficial do fósforo (P) por via convencional, a lança, e sua reconhecida baixa mobilidade na solução do solo, os resultados observados eram esperados. Entretanto, a irrigação pode ter tido papel fundamental na movimentação do P até a camada subsuperficial. A saturação dos sítios de adsorção na superfície do solo via adubação, associada à disponibilidade de água favorece a migração do P ao longo do perfil, mesmo em solos onde sua mobilidade é naturalmente limitada, como os latossolos de textura franco-arenosa.

Tabela 7. Valores médios de pH, fósforo (P), potássio (K), sódio (Na), cálcio (Ca), magnésio (Mg), hidrogênio + alumínio (H+Al) e matéria orgânica (MO) referentes a análises químicas de cada tratamento na camada de 0,20 m a 0,40 m.

Trat.	Doses (kg ha ⁻¹)			Atributos químicos do solo na camada 0,20 m - 0,40 m.							
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	pH em água	P	K	Na	Ca	Mg	H+Al	MO
					mg dm ⁻³			cmol _c dm ⁻³			g kg ⁻¹
T1	135	170	135	6,07	56,46	42,825	0,230	1,594	0,361	2,417	4,31
T2	103	170	103	6,05	57,076	27,875	0,172	1,140	0,208	2,687	7,63
T3	103	170	167	5,87	129,633	25,262	0,069	2,674	0,476	3,521	7,63
T4	167	170	167	5,85	42,236	22,400	0,060	1,844	0,389	1,680	5,21
T5	167	170	103	6,13	25,737	58,164	0,076	2,941	0,657	2,808	4,78
T6	90	170	135	5,68	52,077	18,094	0,021	3,749	0,693	1,884	4,22
T7	180	170	135	6,12	74,618	21,347	0,084	1,072	0,188	2,219	6,49
T8	135	170	90	5,97	53,779	33,861	0,071	1,409	0,226	2,398	6,21
T9	135	170	180	6,10	98,897	19,364	0,047	1,095	0,215	2,248	6,58
T10	0	0	0	6,30	40,611	31,077	0,038	1,728	0,480	1,914	5,18
T11	135	80	135	5,79	57,766	20,009	0,017	0,986	0,223	2,449	4,13

Esse comportamento foi descrito por Sousa et al. (2011) e corroborado por Vinha et al. (2021), que destacam a alta capacidade de retenção de fósforo em solos tropicais que possuem óxidos de ferro e alumínio na sua fração argila. Esses minerais funcionam como pontos de retenção (sítios de adsorção), onde os íons de fósforo (principalmente H₂PO₄⁻ e HPO₄²⁻) são adsorvidos por forças eletrostáticas, tornando-se indisponíveis para absorção pelas plantas. No entanto, quando há aplicação sucessiva de fertilizantes fosfatados, ocorre a saturação desses sítios, reduzindo sua capacidade de fixação.

Quanto ao potássio (K), os teores oscilaram entre 17,23 mg dm⁻³ (T11) e 60,26 mg dm⁻³ (T5); já na camada mais profunda, as concentrações variaram de 18,09 mg dm⁻³ (T6) a 58,16 mg dm⁻³ (T5). Considerando os valores iniciais extremamente baixos (0,20 mg dm⁻³ na superfície e 0,10 mg dm⁻³ na subsuperfície), observa-se uma resposta expressiva à adubação potássica, indicando movimentação significativa do elemento no perfil do solo.

Apesar disso, a maior parte dos tratamentos manteve os teores de K em níveis médios, principalmente na camada superficial, onde foram encontrados os maiores valores de concentração de K. Assim, o efeito residual de K foi considerado baixo, o que pode ser explicado pela cinética de absorção do K, que apresenta uma taxa de assimilação crescente até

um ponto de saturação, a partir do qual a absorção não aumenta significativamente, mesmo com maiores concentrações no solo (FERNANDES; SOUZA; SANTOS, 2018). Dessa forma, com a aplicação de fertilizantes potássicos, a planta tende a absorver mais do nutriente, o que implica em maior produtividade e menor efeito residual.

A concentração de cálcio (Ca) no solo apresentou valores elevados na camada superficial (0,00–0,20 m) em todos os tratamentos, variando de 6,903 cmolc dm⁻³ (T1) a 3,138 cmolc dm⁻³ (T8), conforme os critérios estabelecidos por Sobral et al. (2015). Já na camada subsuperficial (0,20–0,40 m), apenas o tratamento T6 manteve esse nutriente em nível considerado alto, atingindo 3,749 cmolc dm⁻³. Essa elevação nos teores de Ca em relação aos valores originais do solo (1,71 e 1,1 cmolc dm⁻³, respectivamente) está diretamente associada à aplicação de calcário dolomítico antes da instalação dos tratamentos, prática recomendada para a correção da acidez e o fornecimento adicional de Ca e Mg às plantas (SILVA et al., 2011).

Contudo, a dinâmica entre os cátions trocáveis do solo influencia significativamente sua disponibilidade. Como apontam Borin et al. (2015), a absorção de Ca, Mg e K pelas plantas está condicionada não apenas à sua concentração absoluta, mas às interações competitivas entre esses elementos nos sítios de troca do solo. O cálcio, por apresentar maior força de retenção em relação ao magnésio e ao potássio, tende a ocupar preferencialmente os complexos coloidais, dificultando a adsorção de cátions menos fortemente retidos, como o Mg²⁺ e, especialmente, o K⁺ (Ernani et al., 2007).

Esse comportamento explica, em parte, os baixos teores de magnésio registrados no solo após a calagem, cujos valores variaram de 0,026 a 0,693 cmolc dm⁻³ nas duas profundidades avaliadas. Apesar de o Mg ter sido fornecido juntamente com o Ca via calcário dolomítico, a menor retenção do magnésio no complexo de troca e sua intensa competição com o Ca e o K reduziram sua persistência no perfil. Tal resultado está de acordo com a observação de Novais et al. (2007), que destacam a tendência do Mg em ser menos adsorvido quando há disponibilidade elevada de Ca e K, sendo facilmente deslocado para a solução do solo e, eventualmente, lixiviado. Portanto, embora a calagem tenha contribuído para a elevação dos teores de cálcio e para a correção da acidez, o fornecimento de magnésio pode ter sido limitado pela competição catiônica, o que pode comprometer seu aproveitamento nutricional pelas plantas.

Os teores de matéria orgânica (MO) foram baixos em ambas as camadas analisadas (0,00 m a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m); todavia, percebe-se que houve um decréscimo de conteúdo de MO na camada mais profunda. Esse resultado pode estar relacionado à baixa incorporação de resíduos vegetais e à decomposição acelerada da matéria orgânica, aspectos frequentemente observados em solos tropicais manejados intensivamente. A literatura reforça que a matéria orgânica é um componente essencial na retenção de nutrientes e na melhoria da capacidade de troca de cátions (CTC), impactando diretamente a fertilidade do solo (BETTIOL et al., 2023).

Os valores de capacidade de troca de cátions (CTC) foram elevados na camada superficial do solo (0,0–0,20 m) em todos os tratamentos. No entanto, na camada subsuperficial (0,20–0,40 m), observou-se redução nos valores de CTC para a maioria dos tratamentos (Tabela 8). Apenas os tratamentos T3, T5 e T6 mantiveram valores ainda considerados altos (Sobral et al. 2015). Essa variação está associada, principalmente, às diferenças nos teores de cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}) e matéria orgânica (MO), que contribuem diretamente para a CTC do solo. Por exemplo, os tratamentos T3, T5 e T6 apresentaram os maiores valores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e MO na camada subsuperficial, o que explica sua maior capacidade de troca de cátions.

Tabela 8. CTC, soma de bases e saturação de bases das amostras coletadas na camada de 0,20–0,40 m de profundidade.

Trat.	Doses (kg ha^{-1})			Atributos químicos do solo							
	N	P_2O_5	K_2O	Camada 0,00 m - 0,20 m				Camada 0,20 m - 0,40 m			
				PST	CTC	SB	V%	PST	CTC	SB	V%
T1	135	170	135	2,50	9,96	7,57	76,00	4,88	4,71	2,29	48,70
T2	103	170	103	5,32	9,32	7,57	81,20	4,02	4,28	1,59	37,20
T3	103	170	167	3,01	6,57	4,73	71,90	1,01	6,80	3,28	48,30
T4	167	170	167	4,02	6,95	4,90	70,50	1,49	4,03	2,35	58,30
T5	167	170	103	3,63	7,49	5,68	75,80	1,15	6,63	3,82	57,60
T6	90	170	135	0,56	5,58	3,57	64,00	0,33	6,39	4,51	70,50
T7	180	170	135	3,09	6,15	4,19	68,10	2,32	3,62	1,40	38,70
T8	135	170	90	0,76	5,64	3,54	62,70	1,70	4,19	1,79	42,80
T9	135	170	180	2,35	7,37	4,95	67,10	1,29	3,65	1,41	38,50
T10	0	0	0	0,85	5,07	3,61	71,30	0,90	4,24	2,33	54,90

T11	135	80	135	0,47	5,50	3,98	72,40	0,46	3,73	1,28	34,30
-----	-----	----	-----	------	------	------	-------	------	------	------	-------

Analisando os valores de saturação por base (V%) constatou-se que para a camada superficial apenas os tratamentos T6, T7, T8 e T9 apresentaram índices inferiores a 70%. Na camada de 0,20 a 0,40 m, o único tratamento com valor igual ou superior a esse limite foi o T6, com 70,50%, enquanto os demais variaram entre 34,30% (T11) e 58,30% (T4). De acordo com os parâmetros propostos por Martins (2008), níveis de V% acima de 60% são considerados adequados para a maioria das frutíferas cultivadas em regiões tropicais. Nesse sentido, os valores registrados na camada superficial se mostram potencialmente adequados para o cultivo da cajazeira. Contudo, é importante destacar que, por se tratar de uma espécie ainda em processo de domesticação, não há referências consolidadas na literatura quanto à exigência específicas dessa cultura.

5.4 Análise dos componentes principais (ACP)

Para investigar as interações entre variáveis agronômicas e a produtividade da cajazeira e ao mesmo tempo reduzir a complexidade do conjunto de dados, foi realizada uma Análise de Componentes Principais (ACP) acompanhada de biplot, conforme metodologia de Queiroz et al. (2009). A ACP aplicada aos nove tratamentos e duas testemunhas permitiu sintetizar mais de 63% da variabilidade total em dois componentes principais (CP1 e CP2) (Tabela 9).

Tabela 9. Estimativa das variâncias (Autovalores) e porcentagem acumulada da variância total (%), obtidas pela análise de componentes principais considerando-se os 8 acessos.

Variáveis	CP1	CP2	Cos2	Contrib
pH	0,58	-0,23	0,39	8,72
P	-0,04	0,88**	0,77	17,36***
K	0,93**	-0,10	0,88	19,80***
Ca	0,68**	-0,08	0,47	10,58
Mg	0,39	-0,73**	0,68	15,28***
MO	0,54	0,67**	0,74	16,75***
Produtividade	0,60**	0,39	0,51	11,53
Autovalores	2,48	1,97	-	-
Variância Acumulada (%)	35,37	63,48	-	-

** Significativo a 1%, * Significativo a 5%, ^{NS} Não significativo, *** Variáveis com contribuições (%) mais

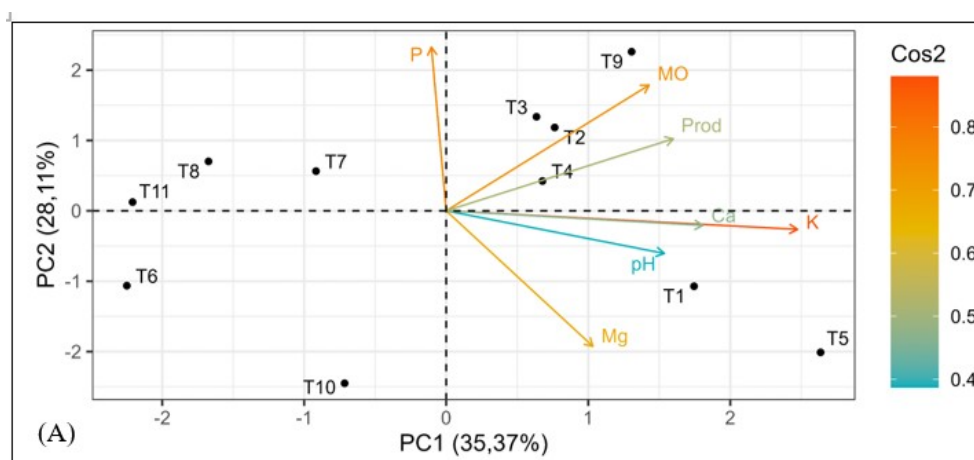
relevantes.

A análise contemplou atributos químicos do solo (pH, fósforo - P, potássio - K, cálcio - Ca, magnésio - Mg, matéria orgânica - MO) e a produtividade. O primeiro componente principal (PC1) concentrou 35,37 % da variância dos dados e apresentou correlação positiva com três variáveis: K, Ca e produtividade, com ênfase para o potássio, a mais influente do grupo. Essa correlação indica que o aumento desses elementos está associado a melhores resultados produtivos.

O segundo componente principal (CP2), responsável por 28,11% da variabilidade, mostrou correlação positiva entre P e MO, e negativa com Mg, sendo P a variável com maior peso nesse eixo. Essa relação sugere que teores elevados de fósforo e matéria orgânica podem reduzir a disponibilidade de magnésio no solo.

Essas variáveis apresentaram maiores valores de qualidade de representação (Cos^2) e de Contribuição percentual (%) (Tabela 9), o que reforça sua importância na explicação da variância total (BARBOSA, 2018). O gráfico biplot (Figura 13A) ilustra essas relações, permitindo visualizar a magnitude e direção dos vetores. Cores mais quentes (vermelho) indicam maiores valores de Cos^2 e, portanto, maior relevância das variáveis (por exemplo, K, P, MO e Mg).

No Biplot (Figura 10A), vetores que apontam na mesma direção indicam correlação positiva, enquanto direções opostas sinalizam antagonismo. Por exemplo, K, Ca e produtividade) apresentam correlação direta, com os tratamentos mais produtivos próximos a esses vetores (T2, T3 e T9). Por outro lado, tratamentos como T6, T7, T8, T10 e T11 estão mais distantes, refletindo baixa produtividade.



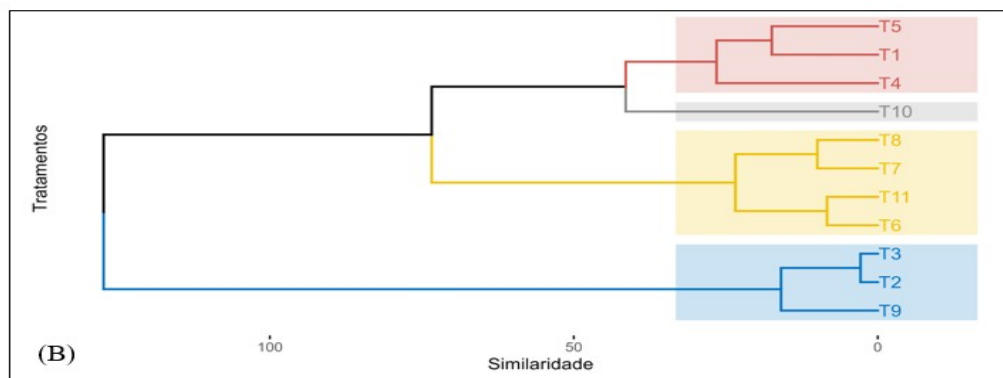


Figura 10. (A) Biplot das variáveis estudadas sob a influência dos nove tratamentos e duas testemunhas; (B) dendrograma utilizando-se o método Ward (Ward's Method).

A orientação oposta dos vetores de Mg em relação aos de P e matéria orgânica (MO) sugere uma possível correlação negativa entre essas variáveis no sistema avaliado. Embora essa tendência possa indicar alguma interferência na disponibilidade de Mg, interpretações mais robustas requerem cautela, dado que essa relação pode estar associada a diferentes transformações no solo. Vetores como pH, Ca e K também se orientam em direção contrária a P, MO e produtividade, o que destaca a complexidade das interações entre fertilidade, acidez do solo e resposta produtiva.

No dendrograma apresentado na Figura 10B, identificou-se a formação de quatro grupos, conforme descrito na Tabela 10. Esses agrupamentos têm a função de identificar padrões nos dados, segmentando os tratamentos aplicados na cajazeira com base em atributos químicos do solo e produtividade, permitindo entender quais combinações de nutrientes resultam em respostas similares (BARBOSA, 2018).

Tabela 10–Médias dos agrupamentos para os nove tratamentos e duas testemunhas para as variáveis estudadas.

Grupos	pH	P	K	Ca	Mg	MO	Prod
	água	mg dm ⁻³	cmolc dm ⁻³			g kg ⁻¹	t ha ⁻¹
G1	6,19	109,61	0,10	3,21	0,27	0,90	2,121
G2	6,01	81,03	0,06	2,44	0,27	0,72	1,243
G3	6,46	36,11	0,07	2,20	0,38	0,70	0,464
G4	6,21	59,37	0,11	3,45	0,40	0,79	2,942

O G1 (azul), formado por T2, T3 e T9 foi caracterizado pelas maiores médias de P (109,61 mg kg⁻¹) e MO (0,90 dag kg⁻¹) (Tabela 10). O G2 (amarelo), formado por T6, T7, T8 e T11 foi caracterizado pelos tratamentos com menores teores de K. O G3 (cinza), composto por T10, foi caracterizado pelos menores valores de P, Ca e MO. O G4 (vermelho), foi caracterizado pelos tratamentos T1, T4 e T5, os quais apresentaram os maiores valores de K, Ca, Mg e produtividade.

A análise multivariada demonstrou que teores isolados de P e MO não foram suficientes para assegurar os maiores níveis de produtividade da cajazeira. O grupo mais produtivo (G4), conforme evidenciado na Tabela 11, apresentou um perfil de equilíbrio nutricional mais consistente, com destaque para as concentrações conjuntas de potássio, cálcio e matéria orgânica. Essa combinação reforça a hipótese de que a produtividade da espécie está relacionada à disponibilidade integrada de macronutrientes, e não apenas à abundância individual de cada elemento.

Tabela 11– Valores e médias dos agrupamentos para os nove tratamentos e duas testemunhas para as variáveis estudadas.

Tratamento	Doses (kg ha ⁻¹)			Atributos químicos do solo					Produtividade	
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	pH em água	P	K	Ca	Mg	MO	t ha ⁻¹

					mg dm ⁻³		cmol _c dm ⁻³		g kg ⁻¹		
T1	135	170	135	6,17	65,4	0,13	4,06	0,36	7,4		1,951
T2	103	170	103	6,27	109,26	0,1	3,87	0,2	7,8		1,789
T3	103	170	167	6,01	111,43	0,1	3,05	0,35	9,2		1,628
T4	167	170	167	6,1	63,86	0,07	2,83	0,34	8,4		4,381
T5	167	170	103	6,36	48,85	0,14	3,46	0,49	8		2,494
T6	90	170	135	5,81	84,08	0,05	2,97	0,39	6,2		0,356
T7	180	170	135	6,22	79,09	0,07	2,28	0,2	7,3		2,413
T8	135	170	90	5,99	84,78	0,07	2,19	0,22	7,5		1,598
T9	135	170	180	6,31	108,15	0,1	2,71	30,26	10,1		2,947
T10	0	0	0	6,46	36,11	0,07	2,2	0,38	7		0,464
T11	135	80	135	6,01	76,14	0,05	2,3	0,26	7,7		0,605

Resultados semelhantes foram descritos por Pereira et al. (2025), que, em florestas ripárias, identificaram correlação positiva entre atributos químicos do solo (saturação por bases, K, Ca, Mg e P) e a estrutura arbórea, evidenciada por maior densidade e biomassa. Em ambos os contextos, observa-se que solos com maior fertilidade, seja natural ou promovida por correção química, favorecem o desempenho de espécies lenhosas, destacando a importância da disponibilidade equilibrada de nutrientes trocáveis para o crescimento sustentável.

5.5 Análise econômica da cajazeira irrigada no município de Teresina-PI.

O conhecimento dos custos de produção é de fundamental importância para a análise econômica de uma propriedade agrícola. A sustentabilidade econômica de uma atividade depende, entre outros fatores, da capacidade de gerar receita líquida suficiente para cobrir, no mínimo, os custos variáveis, e, idealmente, também os custos fixos e o capital investido (ZONTA et al., 2020; ZONTA et al. 2019). Além de permitir a avaliação da viabilidade de um investimento agrícola, a análise econômica é uma ferramenta estratégica que contribui para otimizar a gestão da produção e aumentar a eficiência dos recursos empregados. Práticas como irrigação controlada, fertirrigação e manejo adequado influenciam diretamente os custos operacionais e a produtividade do pomar. Quando bem planejado, o cultivo de frutas pode gerar uma renda estável e previsível, reduzindo a vulnerabilidade dos agricultores diante das oscilações de mercado e das condições climáticas adversas. A análise econômica, portanto, não apenas avalia a rentabilidade do investimento, mas também subsidia a tomada de decisões

estratégicas para garantir um melhor aproveitamento dos insumos e da mão de obra disponível (PIRES; KRAUSE, 2020). Para a análise econômica do cultivo da cajazeira irrigada, considerou-se uma área de 1,0 ha, utilizando sistema de irrigação por microaspersão e adubação anual composta pela aplicação de 167 kg ha⁻¹ de N, 167 kg ha⁻¹ de K₂O, 170 kg ha⁻¹ P₂O₅, com base nos tratamentos que apresentaram melhor desempenho agrônômico (produtividade de 4,381 t ha⁻¹). Os adubos foram aplicados preferencialmente via fertirrigação, de forma parcelada, para garantir maior eficiência.

O custo total de produção incluiu despesas com aquisição de insumos, irrigação, mão de obra, manutenção e contratação de serviços de terceiros (Tabela 12). A receita bruta foi proveniente da venda dos frutos in natura da cajazeira. Como apresentado na Tabela 13, até o 5º ano os custos de produção superaram as receitas, resultando em receita líquida negativa. A partir do 6º ano, observou-se superávit operacional, com receita líquida anual positiva. Todavia, a estabilização com retorno econômico satisfatório só ocorreu a partir do 7º (sétimo) ano, cuja receita líquida anual foi de R\$15.702,69 por hectare.

A viabilidade econômica do investimento foi avaliada por meio de indicadores financeiros como o Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR) e o Índice Benefício-Custo (IBC). O VPL permite estimar o valor presente dos fluxos de caixa futuros descontados a uma taxa mínima de atratividade (TMA), geralmente definida em 10% para projetos agrícolas (BERGMANN et al., 2023). A TIR, por sua vez, corresponde à taxa percentual de juros obtida no exato momento em que o investimento é recuperado, quando o Valor Presente Líquido (VPL) é igual a zero (ASSAF NETO, 2014). Essas métricas econômicas utilizam fatores de descontos e consideram a dimensão tempo, permitindo identificar situações favoráveis e desfavoráveis de investimentos, facilitando a construção e a implementação de estratégias de intervenção (ATALLAH et al., 2012).

Na análise do VPL, observou-se que a partir do 14º ano o valor foi positivo, indicando que os fluxos de receita superaram os custos totais, com retorno líquido do investimento. A atividade de cultivo da cajazeira, além de remunerar o investimento feito a uma taxa de desconto de 10%, geraria o lucro no valor de R\$ 53.212,21, segundo estimativas do modelo econômico adotado (GALEANO; GOMES, 2018). Já a TIR calculada foi de 20%, superior à taxa de atratividade adotada, o que indica que o projeto oferece rentabilidade superior ao retorno mínimo exigido para justificar o investimento. Portanto, o cultivo da cajazeira irrigada

apresenta viabilidade econômica a longo prazo, com retorno positivo após o 14º ano de produção.

Autores como Ferreira (2004) afirmam que para avaliar o risco de um investimento, é necessário, além dessas métricas, outro indicador que demonstre o quanto o investidor ganhará em relação ao montante investido, no período estabelecido, o índice BENEFÍCIO-CUSTO (IBC). Para que o IBC seja satisfatório e demonstre que haverá rentabilidade na atividade proposta, é necessário que o valor seja superior a 1. No presente estudo, o IBC da cajazeira irrigada foi 1,03 após 14 anos, indicando que, para cada real investido, o retorno foi de R\$ 1,03, o que equivale a um ganho de 3% sobre o capital aplicado ao longo do ciclo do investimento.

Comparando os indicativos econômicos do cultivo da cajazeira irrigada com outras fruteiras, a cajazeira apresentou desempenho competitivo, mesmo sendo uma espécie em domesticação. A adoção de tecnologias como fertirrigação, manejo de podas e correção adequada do solo pode influenciar a planta a expressar seu potencial produtivo, podendo proporcionar lucratividade à atividade dentro do período estimado.

Lazzarotto (2018), ao avaliar a produção de maçã em três sistemas com diferentes níveis tecnológicos, identificou VPLs positivos entre 10 e 19 anos, com investimentos iniciais variando entre R\$ 49.995,57 ha⁻¹ e R\$ 158.355,65 ha⁻¹. A cajazeira, com custo acumulado de R\$ 147.296,60 ha⁻¹ nos sete primeiros anos, obteve retorno total em 14 anos e uma TIR de 20%, superior à máxima registrada na cultura da maçã (12,52%).

Ao avaliar a viabilidade econômica da tangerina ‘Ponkan’, Galeano e Gomes (2018) reportaram recuperação do investimento no nono ano de cultivo, com uma TIR de 15,5%. Contudo, embora a cajazeira leve mais tempo para atingir um VPL positivo, sua TIR elevada sugere maior rentabilidade em longo prazo. Da mesma forma, o cultivo de pêra no Vale do São Francisco, segundo Lima et al. (2018), também demonstrou viabilidade econômica somente após 10 anos, com uma TMA de 12%, reforçando o caráter de retorno mais lento, comum em fruteiras perenes.

Por outro lado, Araújo et al. (2001) registraram TIRs mais elevadas em fruteiras de ciclo mais curto como acerola, goiaba, maracujá e abacaxi, variando entre 35,7% e 68,53%, evidenciando maior retorno financeiro num período menor que o da cajazeira. Essas culturas,

embora mais rentáveis a curto prazo, geralmente exigem um manejo mais intensivo e podem ter custos iniciais mais elevados.

Assim, embora o cultivo da cajazeira irrigada apresente retorno mais demorado, pode representar uma opção viável e promissora para agricultores familiares ou investidores interessados em culturas perenes, com menor exigência de substituição de mudas, maior longevidade produtiva e bom potencial de valorização dos frutos no mercado regional.

Tabela 12. Custos de produção de 1 ha cultivado com a cajazeira em Teresina, PI.

DESPESAS DE CUSTEIO			ANO 1		ANO 2		ANO 3		ANO 4		ANO 5		ANO 6		ANO 7		TOTAL
INSUMOS	Und.	Valor unitário (R\$ 1,00)	Qntd.	Valor	Qntd.	Valor	Qntd.	Valor	Qntd.	Valor	Qntd.	Valor	Qntd.	Valor	Qntd.	Valor	
Composto orgânico	m³	200	3	600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	600
Calcário dolomítico	t	870	2	1.740	0		0	0	2	1.740	0	0	0	0	2	1.740	5.220
Ureia	kg	5	379	1.895	379	1.895	379	1.895	379	1.895	379	1.895	379	1.895	379	1.895	13.265
Superfosfato simples	kg	4,5	850	3.825	850	3.825	850	3.825	850	3.825	850	3.825	850	3.825	850	3.825	26.775
Cloreto de potássio	kg	4,7	278	1.306,6	278	1.306,6	278	1.306,6	278	1.306,6	278	1.306,6	278	1.306,6	278	1.306,6	9.146,2
FTE BR 12	kg	13,5	6	81	6	81	6	81	6	81	6	81	6	81	6	81	567
Ácido bórico	kg	30	5	150	5	150	5	150	5	150	5	150	5	150	5	150	1.050
Herbicida	L	80	2	160	2	160	2	160	2	160	2	160	2	160	2	160	1.120
Mudas	unid.	30	100	3000	10	300	3	90	0	0	0	0	0	0	0	0	3.390
OUTROS CUSTOS																	
Irrigação	kit	15.000	1	2.142,85	1	2.142,85	1	2.142,85	1	2.142,85	1	2.142,85	1	2.142,85	1	2.142,85	15.000
Consumo de água	taxa	3.060,5	1	3.060,5	1	3.060,5	1	3.060,5	1	3.060,5	1	3.060,5	1	3.060,5	1	3.060,5	21.423,7
Operação com máquinas agrícolas	h/máq.	250	3	750	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	750
Análise de Solo	unid.	350	1	350		0		0	1	350	0	0	0	0	1	350	1.050
Implementos Manuais	unid.	200	2	400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	400
Depreciação do conjunto de irrigação	CONAB			0		0				2.400		3.200		4.000		4.800	14.400

R\$/ha) =

Depreciação (exaustão do cultivo)	CONA B													4.510,5		4.829,2	9.339,7
TOTAL DOS INSUMOS + OUTROS (A)				32.318,1		10.778,1		10.568,1		14.968,1		13.678,1		18.988,7		22.197,3	123.496,6
SERVIÇOS																	
Limpeza do terreno	d/H	80	2	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	160
Aplicação de calcário	d/H	80	2	160	2	160	2	160	2	160	2	160	2	160	2	160	1.120
Marcação de covas	d/H	80	2	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	160
Preparo e adubação da cova	d/H	80	2	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	160
Plantio / Replântio	d/H	80	2	160	1	80	1	80	0	0	0	0	0	80	0	0	320
Aplicação de herbicida	d/H	80	2	160	2	160	2	160	2	160	2	160	2	160	2	160	1.120
Adubação de cobertura	d/H	80	3	240	3	240	3	240	3	240	3	240	3	240	3	240	1.680
Adubação de manutenção(fer tirrigação)	d/H	80	0	0	0	0	0	0	8	640	8	640	8	640	8	640	2.560
Podas	d/H	80	0	0	0	0	2	160	2	160	2	160	2	160	2	160	800
Roçagem / Coroamento	d/H	80	4	320	4	320	4	320	4	320	4	320	4	320	4	320	2.240
Colheita	d/H	80	0	0	0	0	0	0	50	4.000	100	8.000	200	1.6000	200	1.6000	44.000
Transporte Colheita	d/H	80	0	0	0	0	0	0	2	160	2	160	3	240	3	240	800
Classificação e	d/H	80	0	0	0	0	0	0	2	160	2	160	3	240	3	240	800

embalagem								
TOTAL DE SERVIÇOS (B)	1.520	960	1.120	6.000	10.000	2.100	2.100	55.920
CUSTO TOTAL (A+B)	33.838,1	11.738,1	11.688,1	20.968,1	23.678,1	21.088,7	24.297,3	147.296,6

ESPECIFICAÇÃO	1º ANO	2º ANO	3º ANO	4º ANO	5º ANO	6º ANO	7º ANO
INSUMOS	32.318,13	10.778,13	10.568,13	14.968,13	13.678,13	18.988,66	22.197,31
MÃO-DE-OBRA	1.520	960	1.120	6.000	10.000	2.100	2.100
TOTAL DOS CUSTOS	33.838,13	11.738,13	11.688,13	20.968,13	23.678,13	21.088,66	24.297,31
TOTAL DAS RECEITAS	0	0	5.000	17.230	11.700	21.905	40.000
RECEITAS LIQUIDAS	-33.838,13	-11.738,13	-6.688,13	-3.738,13	-11.978,13	816,34	15.702,69
VPL (14 ANOS DE PRODUÇÃO)						34.893,02	
TIR (14 ANOS DE PRODUÇÃO)						20%	
RELAÇÃO BENEFÍCIO-CUSTO						1,03	

Tabela 13. Resultados econômicos da produtividade da cajazeira em 1 ha.

6. Conclusão

Conclui-se que a dose de 167-170-167 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente, foi a que proporcionou maior produtividade da cajazeira irrigada (4,381 t ha⁻¹) nas condições avaliadas. A colheita concentrou-se entre os meses de janeiro e abril, coincidindo com o período chuvoso na região de Teresina, o que reforça a influência da sazonalidade climática no ciclo fenológico da espécie.

A análise de regressão indicou que o nitrogênio foi o nutriente que exerceu maior influência direta na produtividade, seguido pela interação entre as doses de nitrogênio e potássio. A análise de componentes principais (ACP) evidenciou correlação positiva entre os teores de potássio, cálcio e a produtividade, bem como entre esta e os teores de fósforo e matéria orgânica, destacando esses atributos como os mais relevantes na explicação da variação produtiva da cultura.

Por fim, a análise econômica do cultivo irrigado da cajazeira em um hectare demonstrou que o retorno financeiro ocorre a partir do 14º ano, desde que sejam mantidas as condições técnicas e mercadológicas assumidas neste estudo, apontando para a viabilidade do sistema em longo prazo.

Destaca-se a necessidade de novas pesquisas voltadas à nutrição mineral da cajazeira, a fim de fornecer subsídios científicos que consolidem e fortaleçam sua cadeia produtiva no Brasil.

7. Referências bibliográficas

- ABID, H.; WILLIAMS, L. J. (2010) “Principal Component Analysis.” John Wiley and Sons, Inc. WIREs Comp Stat 2: 433–59.
- ADLER, G. H.; KIELPINSKI, K. A. Reproductive phenology of a tropical canopy tree, *Spondias mombin*. **Biotropica**, v. 32, n. 4a, p. 686-692, 2000.
- ALMEIDA, O. A.; SOUSA, V. F.; RODRIGUES, B. H. N.; SANTOS, F. J. S. Métodos e equipamentos para fertirrigação. In: SOUSA, V. F.; MAROUELLI, W. A.; COELHO, E. F.; PINTO, J. M.; COELHO-FILHO, M. A. **Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2011.
- AMARAL, A. B.; FERREIRA, A. K. A.; NEVES, L. I. A.; CARDOSO, A. T. A.; RIBEIRO, L. R. T.; RAMOS, N. A.; MAIA, B. K. S.; SOARES, L. B.; COSTA, C. V. C.; ALMEIDA, V. P. P. Relevância da produção de taperebá (*Spondias mombin*) e seus entraves: levantamento bibliográfico – in: MISSIO, F. F. **Tópicos especiais em engenharia florestal: volume 2** – Guarujá-SP: Científica Digital, 2024.
- ANDRADE, M.W. de; MENDONÇA, V.; HAFLE, O.M.; MEDEIROS, P.V.Q. de; MENDONÇA, L.F. de M. Adubos nitrogenados e potássicos na produção de porta-enxertos de umbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arr. Cam.). **Revista Caatinga**, v.26, p.117-122, 2013.
- ARCE-ROMERO, A. R.; MONTERROSO-RIVAS, A. I.; GOMÉZ-DIAZ, J. D.; CRUZ-LEÓN, A. *Mexican plums* (*Spondias* spp.): their current distribution and potential distribution under climate change scenarios for Mexico. **Revista Chapingo Serie Horticultura**, v.23, n.1, 2017.
- ARAÚJO, A. C.; SILVA, L. M. R.; KHAN, A. S.; LEITE, J. B. V.; MACEDO, A. F. Viabilidade financeira da produção de frutas na região sudeste de Bahia. In: XXXVIII CONGRESSO NACIONAL E ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 2000. Rio de Janeiro. **Anais**. Brasília-DF: SOBER, p. 1-15, 2000.
- ASSAF NETO, Alexandre; LIMA, Fabiano Guasti. **Curso de Administração Financeira**. São Paulo: Atlas, 3ª Edição, 2014.
- ATALLAH, S. S.; GÓMEZ, M. I.; FUCHS, M.F.; MARTINSON, T. E. Economic Impact of Grapevine Leafroll Disease on *Vitis vinifera* cv. Cabernet franc in Finger Lakes Vineyards of New York. **American Journal of Enology and Viticulture**, Davis, v. 63, n. 1, p. 73-79, 2012.
- BARBOSA, L. M. **Análise de componentes principais no estudo do IPCA-15**. 2018. 41 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Estatística) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018.
- BARROW, N. J.; HARTEMINK, A. E. The effects of pH on nutrient availability depend on both soils and plants. **Plant and Soil**, v.487, p.21-37, 2023.
- BATISTA, M.A.; INOUE, T.T.; ESPER NETO, M.; MUNIZ, A.S. Princípios de fertilidade do solo, adubação e nutrição mineral. In: BRANDÃO FILHO, J.U.T.; FREITAS, P.S.L.; BERIAN, L.O.S.; GOTO, R. **Hortaliças-fruto**. Maringá: EDUEM, 2018.
- BERGMANN, B. H.; NUNES, E. L.; CASCAES, S. P.M.; SILVA, M. M. Estudo da combinação de indicadores para análise da viabilidade de projetos: uma revisão de literatura. **Revista de**

Gestão e Secretariado, v.14, n.6, p. 10644-10665, 2023.

BETTIOL, W.; SILVA, C. A.; CERRI, C. E. P.; MARTIN-NETO, L.; ANDRADE, C. A. **Entendendo a matéria orgânica do solo em ambientes tropical e subtropical** – Brasília, DF: Embrapa, 2023. 788p.

BORGES, A. L. **Recomendações de calagem e adubação para abacaxi, acerola, banana, citros, mamão, mandioca, manga e maracujá** – 2. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2021.

BORGES, A. L.; MAGALHÃES, A. F. J.; OLIVEIRA, A. M. G.; SILVA, D. J. S.; COSTA, E. L.; COELHO, E. F.; PINTO, J. M.; SOUZA, L. F. S.; FILHO, M. A. C.; ALMEIDA, O. A.; SOUSA, V. F. **Fertirrigação em fruteiras tropicais**. 2 ed. – Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, 2009. 179 p.

BORIN, A. L. D. C.; CARVALHO, M. da C. S.; FERREIRA, G. B. Nutrição, calagem e adubação do algodoeiro. In: FREIRE, E. C. (ed.). **Algodão no cerrado do Brasil**. Brasília, 2015. p. 485-531.

BOSCO, J.; SOARES, K. T.; AGUIAR-FILHO, S. P.; BARROS, R. V. **A cultura da cajazeira**. João pessoa: EMEPA – PB, 2000.

BRUNETTO, G.; ROZANE, D. E.; LOSS, A.; NATALE, W. **Estratégias de manejo para melhorar o aproveitamento de nutrientes em frutíferas**. Santa Maria: Editora Palotti, 2023. 280 p.

CASTRO, S. S.; HERNANI, L. C. **Solos frágeis: Caracterização, manejo e sustentabilidade**. Brasília, DF: Embrapa Solos.

CECHINEL, J. H.; CIOTTA, M. N.; NAVA, G.; ERNANI, P. R. Influência da irrigação e da fertirrigação no rendimento de frutos de macieiras ‘Kinkas’. **Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v. 35, n. 1, p. 67-72, 2022.

COELHO, E. F.; OR, D.; SOUSA, V. F. Aspectos básicos em fertirrigação. In: SOUSA, V. F.; MAROUELLI, W. A.; COELHO, E. F.; PINTO, J. M.; COELHO-FILHO, M. A. **Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2011.

COELHO, E.F.; SOUZA, V.F.; PINTO, J. M. Manejo da Fertirrigação em Fruteiras. **Bahia Agrícola**, v.6, n.1, 2003. P 65-70.

CONAGIN, A.; JORGE, J. P. N. Delineamento (1/5) (5x5x5) em blocos. Campinas – S.P. **Bragantia**, Campinas, v. 41, n.16, p. 155-168. 1982.

COSTA, A. F. S.; COSTA, A. N. **Valores orientadores de qualidade de solos no Espírito Santo**. Vitória, ES: Incaper, 2015.

CRISÓSTOMO, L. A.; NAUMOV, A. **Adubando para alta produtividade e qualidade: fruteiras tropicais do Brasil**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2009.

DEVECHIO, F. F. S. **APOSTILA DE FERTILIDADE DO SOLO**. Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos – Universidade de São Paulo (FZEA/USP), 2023.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives**. Sinauer Associates, 2005.

ERNANI, P. R.; ALMEIDA, J. A. de; SANTOS, F. C. Potássio. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F. de; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (ed.). **Fertilidade do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 551-594, 2007.

FACHINELLO, J. C.; NACHTIGAL, J. C.; KERSTEN, E. **Fruticultura: fundamentos e**

práticas. 1º ed. Pelotas, 2008. 176 p.

FEITOSA, S. S. **Nutrição mineral e adubação da cajazeira (Spondias mombin L.) na Zona da Mata Paraibana**. 2007. 51 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências Agrárias, Areia, 2007.

FERNANDES, M. S.; SOUZA, S. R. de; SANTOS, L. A. **Nutrição Mineral de Plantas**. 2ª ed. Viçosa - MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2018.

FERREIRA, M. A. M. Indicadores para análise de projetos de investimento considerando fluxos de benefícios não determinísticos. **Revistas de Negócios**, v. 9, n. 4, p. 207-214, 2004.

FREITAS, L. J. S. **Atributos químicos do solo sob influência de adubação organomineral e química**. 2018. Trabalho de conclusão do curso (bacharelado em agronomia) - UniEVANGÉLICA, Anápolis, 2018.

FONSECA, N.; MACHADO, C.F.; SILVA JÚNIOR, J. F.; CARVALHO, R. S.; RITZINGER, R.; ALVES, R. M.; MAIA, M. C. C. **Umbu, cajá e espécies afins**. instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), 2017. 30p.

GALEANO, E. V.; GOMES, S. A. ANÁLISE DE CUSTOS DE PRODUÇÃO E AVALIAÇÃO ECONÔMICA DO CULTIVO DE TANGERINA PONKAN NO ESPÍRITO SANTO. **Revista Intelletto**, v.3, n.1, 2018.

GALILI, T. (2015). “dendextend: an R package for visualizing, adjusting, and comparing trees of hierarchical clustering.” *Bioinformatics*.

GOMES, P. F. **Curso de estatística experimental**. 15. ed. Piracicaba. ESALQ, 2009. 451 p. (Biblioteca de ciências agrárias “Luiz de Queiroz”, 15).

GERUM, A. F. A. A.; SANTOS, G. S.; SANTANA, M. A.; SOUZA, J. S.; CARDOSO, C. E. L. **Fruticultura Tropical: potenciais riscos e seus impactos**. Cruz das Almas, BA: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2019. 28 p.

IMAS, P.; WIENDL, T. **Potássio, o Elemento da Qualidade na Produção Agrícola**. Instituto Internacional do Potássio (IPI), 2013.

JOHAN, E. R.; SOUZA, A.; BISPO, C. M.; CITADIN, M. W.; SILVA, W. V. METODOLOGIA CLÁSSICA E MÉTODO MULTI-ÍNDICE NA AVALIAÇÃO FINANCEIRA DE PROJETOS DE INVESTIMENTO: UM ESTUDO DE CASO NA EMPRESA ALFA. **Gestão e Desenvolvimento**, v. 11, n. 1, p. 91-112, 2014.

JOLLIFFE, I.T. *Principal component analysis*. New York: Springer-Verlag, 1986.

KASSAMBARA, A.; MUNDT, F. (2020). factoextra: Extract and Visualize the Results of Multivariate Data Analyses. R package version 1.0.7.

LAZZAROTTO, J. J. **Indicadores econômicos e financeiros em sistemas típicos de produção de maçã no Brasil**. Bento Gonçalves, RS: Embrapa Uva e Vinho, 2018. (Embrapa Uva e Vinho. Circular Técnica, 141).

LEDERMAN, I. E; LIRA-JÚNIOR, J. S. DE; SILVA-JÚNIOR, F. S. **Spondias no Brasil: umbu, cajá e espécies afins**. Recife: Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária –IPA/UFRPE, 2008. p. 23-30.

LÊ, S.; JOSSE, J.; HUSSON, F. “FactoMineR: An R Package for Multivariate Analysis.” **Journal of Statistical Software**, 25(1), 1–18, 2008.

LIMA, A. G.; LIMA, J. R. F.; FERREIRA, M.O.; ARAÚJO, J. L. P. ANÁLISE ECONÔMICA

DA CULTURA DA PERA CULTIVADA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO. In: SOBER – SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 2018, Campinas. **Anais eletrônicos**. Campinas: SOBER, 2018.

LOPES, A.S.; SILVA, M. DE C.; GUILHERME, L.R. G. **Acidez do solo e calagem**. 3º ed. São Paulo, ANDA 1991. 22 p. (Boletim Técnico, 1).

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: POTAFOS, 1997.

MARTINS, A. G. **Calagem e adubação de fruteiras**. Vitória: XX Congresso Brasileiro de Fruticultura / 54th Annual Meeting of the Interamerican Society for Tropical Horticulture, 2008 [Apostila de minicurso].

MARTINS, E.C.A.; ELUZIO, J.M.; OLIVEIRA-JUNIOR, W.P.; TSAI, S. M.; NAVARRETE, A.A.; MORAIS, P. B. Alterações dos atributos físico-químicos da camada superficial do solo em resposta à agricultura com soja na Várzea do Tocantins. **Biota Amazônia**, v. 5, p. 56-62, 2015.

MATTIETTO, R. A.; LOPES, A. S.; MENEZES, H. C. Caracterização física e físicoquímica dos frutos da cajazeira (*Spondias mombin* L.) e de suas polpas obtidas por dois tipos de extrator. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 13, n. 3, p. 156-164, 2010.

MEDEIROS, R. M.; CAVALCANTI, E. P.; DUARTE, J. F. M. CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DE KÖPPEN PARA O ESTADO DO PIAUÍ – BRASIL. **Revista Equador**, v.9, n.3, 2020.

MELLO, S. C.; MENDONÇA, J. A. **Nutrição de olerícolas**. Curitiba- SENAR-PR., 2017. – 80 p.

MENDES, B. F. **Umbuzeiro (Spondias tuberosa Arr. Cam.) importante fruteira do semi-árido**. Mossoró-RN: ESAM, 1990. 67 p.

MITCHELL, J. D.; DALY, D. C. A revision of *Spondias* L. (Anacardiaceae) in neotropics. **PhytoKeys**, v. 55, n. 1, p. 1–92, 2015.

NASCIMENTO, A. S.; MARIA APARECIDA CASTELLANI, M. A.; RORIZ, A. K. P.; SOUZA, J. S.; SÁ, R. F.; AGUIAR, W. M. M.; MOREIRA, A. A.; PARANHOS, B. A.; JOAQUIM-BRAVO, I. S. Moscas-das- frutas, suas plantas hospedeiras e parasitoides no estado de Pernambuco, in: ZUCCHI, R. A.; MALAVASI, A.; ADAIME, R.; NAVA, R. E. **Moscas-das-frutas no Brasil: conhecimento básico e aplicado**; v. 2, I edição - Piracicaba : FEALQ, 2023. 397 p.

NASCIMENTO, D. B.; LOPES, M. L. S.; IZIDRO, J. L. P. S.; BEZERRA, R. C. A.; GOIS, G. C.; AMARAL, T. N. E.; DIAS, W. S.; BARROS, M. M. L.; OLIVEIRA, A. R. S.; SOBRINHO, J. L. F.; COELHO, J. J. Ciclagem de Nitrogênio, Fósforo e Potássio em Ecossistemas de Pastagem. **Ciência Animal Brasileira**, v. 25, 2024.

NEVES, O. S. C.; CARVALHO, J. G.; FERREIRA, E. V. O.; PEREIRA, N. V. Crescimento, nutrição mineral e nível crítico foliar de K em mudas de umbuzeiro, em função da adubação potássica. **Ciência e agrotecnologia**, v.31, n.3, 2007.

NEVES, O. S. C.; CARVALHO, J. G.; FERREIRA, E. V. O.; PEREIRA, N. V.; NEVES, V. B. F. Efeito da adubação nitrogenada sobre o crescimento e acúmulo de nutrientes em mudas de umbuzeiro. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.2, n.3, p. 200-207, 2007.

NOGUEIRA, M.C.S. **Experimentação Agronômica I**: conceitos, planejamento e análise estatística. Piracicaba: M.C.S. Nogueira, 2007. 479p.

NOVAIS, R. F.; VENEGAS, V. H. A.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R.

- B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG; Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007.
- OGUNRO, O. B.; OYEYINKA, B. O.; GYENI, G. A.; BATIHAG. E. Nutritional benefits, ethnomedicinal uses, phytochemistry, pharmacological properties and toxicity of *Spondias mombin* Linn: a comprehensive review. **Journal of Pharmacy and Pharmacology**, v. 75, p.162–226, 2023.
- OLIVEIRA, A. V. M.; SOUSA, A. M.; ROLIM, P. M. Potencialidades do umbu (*Spondias tuberosa* Arr.) e cajá (*Spondias mombin* L.): evidências para promoção da biodiversidade alimentar. **Nutrição Brasileira**. N. 23, v.2, p. 888-911, 2024.
- PEREIRA, V. G. M. F.; LOPES, A. S.; BELCHIOR, I. B.; JÚNIOR E. D. F.; PACHECO, A.; BRITO, K. R. M. Irrigação e fertirrigação no desenvolvimento de eucalipto. **Ciência Florestal**, v. 29, n. 3, p. 1100-1114, 2019.
- PEREIRA, D. S.; COSTA, Y. K. S.; CARVALHO, L. B. O elemento P: formas e dinâmica em solos tropicais. **Revista Agronomia Brasileira**, v. 5, 2021.
- PEREIRA, I. M.; BOTELHO, S. A.; VAN DEN BERG, E.; GÖRGENS, E. B.; MACHADO, E. L. M.; OLIVEIRA, M. L. R.; OLIVEIRA FILHO, A. T. Landscape environmental heterogeneity shaping tree community composition and structure in riparian forests. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 49, 2025.
- PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 15. Ed. Piracicaba. ESALQ, 2009. 451p. (Biblioteca de ciências agrárias “Luiz de Queiroz”, 15).
- PINTO, F. B. **Atributos físicos e químicos do solo em área sob diferentes usos na região norte do estado do espírito santo**. São Mateus: Universidade Federal do Espírito Santo, 2016. Dissertação (mestrado em Agricultura tropical) - Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo, 2016.
- PINTO, J. M.; SILVA, D. J.; BORGES, A. L.; COELHO, E. F.; FEITOSA FILHO, J. C. Fertirrigação - In: GENU, P. J. de C.; PINTO, A. C. de Q. (Ed.). **A cultura da mangueira**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2002.
- PIRES, E.; KRAUZE, C. Análise econômica da produção de Pitaya na agricultura familiar do sul de Santa Catarina. **Metodologias e Aprendizado**, v. 2, p. 181–189, 2020.
- R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2020.
- ROZANE, D. E.; BRUNETTO, G.; NATALE, W. Manejo da fertilidade do solo em pomares de frutíferas. **Informações Agronômicas**, N.160, 2017.
- ROZANE, D. E.; NATALE, W. Calagem, adubação e nutrição mineral de anonáceas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.36, 2014.
- SACRAMENTO, C. K.; SOUZA, F. X. Cajá (*Spondias mombin* L.) IN: **Frutas Nativas**, 4. Jaboticabal, Funep, 42 p., 2000.
- SACRAMENTO, C. K.; SOUZA, F. X. Cajá In: **Fruticultura tropical: espécie regionais e exóticas**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 506 p., 2009.
- SANTANA, F. F. **Caracterização de genótipos de cajazeiras**. Jaboticabal: Universidade Estadual Paulista, 2010. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Jaboticabal, 2010.
- SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J.

F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.

SANTOS, V. P.; FERNANDES, P. D.; MELO, A. S.; SOBRAL, L. F.; BRITO, M. E. B.; DANTAS, J. D. M.; BONFIM, L. V. Fertirrigação da bananeira cv. Prata-Anã com N e K em um Argissolo vermelho-amarelo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 31, n.2, 2009.

SANTOS-SEREJO, J. A.; DANTAS, J. L. L.; SAMPAIO, C. V.; COELHO, Y. S. **Fruticultura Tropical: espécies regionais e exóticas**. Embrapa Informação Tecnológica, Brasília, 2009.

SARTO, G. D.; TEIXEIRA-FILHO, M. C. M.; CARVALHO, A. C.; BUZETTI S.; BITENCOURT, H. S.; MORETTI-NETO, M. J. Atributos químicos do solo em função de doses de potássio e de brotações de eucalipto. **Anais. XXXV Congresso Brasileiro de Ciências do Solo**, 2015.

SILVA, F. P.; ALVES, A. **Análise de investimento e fontes de financiamento**. Porto Alegre: SAGAH, 111p. 2018.

SILVA, T. A. F.; TUCCI, C. A. F.; SANTOS, J. Z. L.; BATISTA, I. M. P.; MIRANDA, J. F. de; SOUZA, M. M. Calagem e adubação fosfatada para a produção de mudas de *Swietenia macrophylla*. **Floresta**, v. 41, n. 3, p. 459-470, 2011.

SILVA, W.; NATALE, W.; TANIGUCHI, C. A. K.; SOUZA, F. X.; ARTUR, A. G. Nitrogen and potassium application on yellow mombin initial growth. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, n.59, 2024.

SILVA, E. B.; GONÇALVES, N. P.; PINHO, P. J. Limitações nutricionais para crescimento de mudas de umbuzeiro em Latossolo Vermelho distrófico no Norte de Minas. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 27, no. 1, p. 55-59, 2005.

SILVINO, R. C. A. S.; SILVA, G. C. T.; SANTOS, O. V. Qualidade nutricional e parâmetros morfológicos do fruto cajá (*Spondias mombin* L.). **Revista Desafios**, v. 04, n. 02, 2017.

SIMÃO, A. H.; MANTOVANI, E. C.; SIMÃO, F. R. IRRIGAÇÃO E FERTIRRIGAÇÃO NA CULTURA DA MANGUEIRA. In: ROZANE D. E.; DAREZZO, R. J.; AGUIAR, R. L.; AGUILERA, G. H. A.; ZAMBOLIM, L. **Manga-produção integrada, industrialização e comercialização** – Viçosa: UFV, 2004.

SIMON, C. P.; GOMES, P. F.; PESSOA, T. N.; SOLTANGHEISI, A.; BIELUCZYK, W.; CAMARGO, P. B.; MARTINELLI, L. A.; CHERUBIN, M. R. Soil quality literature in Brazil: A systematic review. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.46, 2022.

SOBRAL, L.F.; BARRETTO, M. C. V.; SILVA, A. J.; ANJOS, J. L. **Guia prático para interpretação de resultados de análises de solos**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2015.

SOBRINHO, C. A. SILVA, P. H. S.; ARAÚJO, E. C. E.; VASCONCELOS, L. F. L.; VELOSO, M. E. C.; SOUSA, V. F. **Monitoramento de doenças da cajazeira (*Spondias mombin* L.) no estado do Piauí, Brasil**. Circular técnica 56, Embrapa Meio Norte, 2022.

SOUZA, F. X. **Características morfológicas e recomendações de poda da cajazeira** – Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2015.

SOUZA, F. X. **Crescimento e desenvolvimento de clones enxertados de cajazeira na Chapada do Apodi, Ceará**. 2005. 81 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Centro Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

SOUZA, F. X. Enxertia de cajazeira (*Spondias mombin* L.) sobre porta enxerto de umbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arr. Câm.). **Agrotrópica**, v. 10, n. 3, p. 189-192, 1998.

- SOUZA, F. X. Porta-enxertos de Spondias na formação de mudas de cajazeira. **Revista Ciência Agronômica**, n.50, v.4, 2019.
- SOUZA, F. X.; BLEICHER, E. Comportamento da cajazeira enxertada sobre umbuzeiro em Pacajus, CE. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 24, n. 3, p. 790-792, 2002.
- SOUZA, F. X.; CASTRO, A. C. R.; MESQUITA, A. L. M.; ATHAYDE SOBRINHO, C.; NOGUEIRA, C. C. P.; MOURA, C. F. H.; ARAÚJO, E. C. E.; VIANA, F. M. P.; FREITAS, J. A.; D.; BARROS, L. M.; VASCONCELOS, L. F.; VELOSO, M. E. C.; SILVA, P. H.S.; SOUSA, V. F. **Desenvolvimento de clones e de tecnologias para o cultivo sustentável da cajazeira**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2019. P.36.
- SOUZA, F. X.; SOARES, T. A. L.; INNECCO, R. **Formação de mudas de cajazeira por estacas de raiz**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2017.
- SOUZA, T. R., VILLAS-BÔAS, R. L., QUAGGIO, J. A., SALOMÃO, L. C. E FORATTO, L. C. Dinâmica de nutrientes na solução do solo em pomar fertirrigado de citros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, 2012.
- SOUZA, T. R. de; BARDIVIESSO, D. M.; ANDRADE, T. F.; VILLAS BÔAS, R. L. Nutrientes no solo e na solução do solo na citricultura fertirrigada por gotejamento. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 35, n. 3, p. 484-493, 2015.
- SOUSA, V. F.; COELHO, E. F.; PINTO, J. M.; NOGUEIRA, L. C.; COELHO, M. A.; ARAÚJO, A. R. Manejo da fertirrigação em fruteiras e hortaliças. In: SOUSA, V. F.; MAROUELLI, W. A.; COELHO, E. F.; PINTO, J. M.; COELHO-FILHO, M. A. **Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2011.
- SOUZA, F. X. DE; INNECCO, R.; ROSSETTI, G. Influência de porta-enxerto e de método de enxertia no pegamento de enxertos de cajazeira. **Agrotropica**, v. 14, n. 3, p. 85-90, 2002.
- SOUZA, F. X.; PORTO-FILHO, F. Q.; MENDES, N. V. B. **Umbu-cajazeira: descrição e técnicas de cultivo** – Mossoró :EdUFERSA, 2020.
- SOUZA, S.L.C.; SANTOS FILHO, W.L.G.; PINHEIRO, I.C.; MOREIRA, N.G.; LIMA, W.R.; RODRIGUES, M.R.A.; LIMA, J.L.S.; FERREIRA, I.L. Caracterização física e rendimento de polpa dos frutos de cajá (*Spondias mombin* L.). **Anais**. 56º Congresso Brasileiro de Química, 2016.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 5ª ed. Artmed, 2010.
- TEIXEIRA, L. A. J.; NATALE, W.; BETTIOL-NETO, J. E.; MARTINS, A. L. M. Nitrogênio e potássio em bananeira via fertirrigação e adubação convencional - atributos químicos do solo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 29, n.1, 2007.
- TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. Brasília: Embrapa, 2017. 573 p.
- VASCONCELOS, D. V.; SOUSA, V. F.; VIANA, T. V. A.; AZEVEDO, B. M.; SOUSA, G. G.; CAVALCANTE-JUNIOR, J. A. H. INTERAÇÃO ENTRE NÍVEIS DE IRRIGAÇÃO E FERTIRRIGAÇÃO POTÁSSICA NA CULTURA DO MARACUJAZEIRO. **Irriga**, v.18, n.1, p.160-170, 2013.
- VASCONCELOS, L. F. L.; ARAÚJO, E. C. E.; COSTA, J. C. L.; SOUZA, M. O.; NOGUEIRA, C. C. P. Avaliação de clones de cajazeira no município de Água Branca, Piauí. **Anais**. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC, 2023.
- VIEIRA, R. F. **Ciclo do Nitrogênio em Sistemas Agrícolas**. Brasília, DF: Embrapa, 2017.

- VINHA, A. P. C.; CARRARA, B. H.; SOUZA, E. F. S.; SANTOS, J. A. F.; ARANTES, S. A. C. M. Adsorção de fósforo em solos de regiões tropicais. **Nativa**, v.9, n.1, p.30-35, 2021.
- WARD, J. H. Hierarchical grouping to optimize an objective function. **Journal of the American Statistical Association**, v. 58, p. 236-244, 1963.
- WERLE, R.; GARCIA, R. A.; ROSOLEM, C. A. Lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 6, p. 2297-2305, 2008.
- ZIMMERMANN, F. J. P. **Estatística aplicada à pesquisa agrícola**. 2 ed. Brasília. DF: Embrapa; Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2014. 582p.
- ZONTA, J.B; SOUSA, V.F. de. Análise econômica e custo de produção do milho-verde irrigado na Baixada Maranhense In: SOUSA, V.F. de; ZONTA, J.B. **Cultivo do milho-verde irrigado na Baixada Maranhense**. (Documentos / Embrapa Cocais, 5; Documentos / Embrapa Meio-Norte), p.129-140. 2020.
- ZONTA, J.B; SOUSA, V.F. de; NUNES, G.M.V.C.; LOPES, C.E.V. Análise econômica e coeficientes técnicos para a cultura da melancia irrigada na Baixada Maranhense. In: SOUSA, V.F. de; NUNES, G.M.V.C.; ZONTA, J.B. ARAÚJO, E.C.E. **Tecnologias para a produção de melancia irrigada na Baixada Maranhense**. (Documentos / Embrapa Cocais, 5; Documentos / Embrapa Meio-Norte), p.131-139. 2019
- ZORTÉA, K. É. M.; ROSSI, A. A. B.; BISPO, R. B.; ROCHA, V. D.; HOOGERHEIDE, E. S. S. Meiotic behavior and pollen viability of *Spondias mombin* L.: Native fruit species of the Amazon. **Floresta e Ambiente**, v. 26, n. 3, p. 1–8, 2019.
- ZORTÉA, K. E. M.; ROSSI, A. A. B.; TIAGO, A. V.; CARDOSO, E. S.; PINTO, J. M. A.; HOOGERHEIDE, E. S. S. *Spondias mombin* (Anarcadiaceae): molecular characterization and conservation. **Revista de Biología Tropical**, V.69, N. 3, p. 1023- 1036, 2021.
- ZUCOLOTO, M.; SCHMILDT, E. R.; COELHO, R. I. **Fruticultura Tropical: diversificação e consolidação**. Alegre, ES: CAUFES, 2015.