

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DE FLORESTAS TROPICAIS

**INFLUÊNCIA DA CALAGEM, ADUBAÇÃO ORGÂNICA E MINERAL
NO CRESCIMENTO INICIAL DE PAU-ROSA (*Aniba rosaeodora*
DUCKE) EM UM LATOSSOLO AMARELO DA AMAZÔNIA CENTRAL**

RAFAELLE BATISTA AOKI

MANAUS, AMAZONAS

Dezembro, 2023

RAFAELLE BATISTA AOKI

**INFLUÊNCIA DA CALAGEM, ADUBAÇÃO ORGÂNICA E MINERAL NO
CRESCIMENTO INICIAL DE PAU-ROSA (*Aniba rosaeodora* DUCKE) EM UM
LATOSSOLO AMARELO DA AMAZÔNIA CENTRAL**

Orientador: Dr. Newton Paulo de Souza Falcão

Coorientadora: Dra. Danielle Monteiro de Oliveira

Dissertação apresentada ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências de Florestas Tropicais.

MANAUS, AMAZONAS

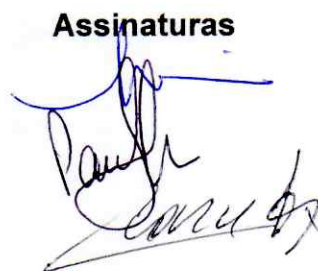
Dezembro, 2023

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DE FLORESTAS TROPICAIS

ATA DE DEFESA PÚBLICA DE DISSERTAÇÃO - MESTRADO


Ata da Defesa presencial de **RAFAELLE BATISTA AOKI**, ocorrida no dia 12/12/2023, na sala de aula do PPG-CFT, Campus III, INPA.

Aos 12 dias de dezembro de 2023, às 14h30 (horário de Manaus/AM), realizou-se a Defesa Pública de Dissertação de **RAFAELLE BATISTA AOKI**, aluna do Programa de Pós-Graduação *Stricto sensu* em Ciências de Florestas Tropicais, intitulada "**Influência da calagem, adubação orgânica e mineral no crescimento inicial de Pau-Rosa (Aniba Rosaeodora Ducke) em um latossolo amarelo distrófico da Amazônia Central**", sob a orientação do Dr. Newton Paulo de Souza Falcão (INPA), e coorientação da Dra. Danielle Monteiro de Oliveira (INPA), em conformidade com o Art. 52 do Regimento Geral da Pós-Graduação do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (MCTI/INPA) e Art. 67 do Regimento Interno do Programa de Pós-Graduação em Ciências de Florestas Tropicais, como parte das atividades para conclusão e obtenção do Título de Mestre em Ciências de Florestas Tropicais. A **Banca Examinadora** foi constituída pelos seguintes membros: Sonia Sena Alfaia (INPA), Paulo de Tarso Barbosa Sampaio (INPA), Edson Barcelos da Silva (EMBRAPA), e tendo como suplentes os seguintes membros: Raquel da Silva Medeiros (INPA), Gil Vieira (INPA). O Presidente da Banca Examinadora deu início à sessão e informou os procedimentos do exame. A aluna fez uma exposição do seu estudo e ao término foi arguida oralmente pelos membros da Comissão. Após as arguições os membros da banca se reuniram para avaliação e chegaram ao seguinte parecer:

Nome	Parecer	Assinaturas
Sonia Sena Alfaia	<input checked="" type="checkbox"/> Aprovou () Reprovou	
Paulo de Tarso Barbosa Sampaio	<input checked="" type="checkbox"/> Aprovou () Reprovou	
Edson Barcelos da Silva	<input checked="" type="checkbox"/> Aprovou () Reprovou	
Menção:	() "Com Distinção" () "Com Louvor" () "Com Distinção e Louvor"	

Nada mais havendo a tratar, foi lavrada a presente Ata que, após lida e aprovada, foi assinada pela Coordenação


Newton Paulo de Souza Falcão
Presidente da Banca / Orientador


Adriano José Nogueira Lima
Coordenador do PPG-CFT
PO. N° 163/2021

Catálogo na Publicação (CIP-Brasil)

A638i Aoki, Rafaelle Batista

Influência da calagem, adubação orgânica e mineral no crescimento inicial de pau-rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke) em um Latossolo Amarelo da Amazônia Central / Rafaelle Batista Aoki; orientador Newton Paulo de Souza Falcão; coorientadora Danielle Monteiro de Oliveira. - Manaus: [s.l.], 2023.

1.0 MB

45p. : il. color.

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Ciências de Florestas Tropicais) - Coordenação do Programa de Pós-Graduação, INPA, 2024.

1. Fertilidade do solo. 2. Latossolo. 3. Espécie Florestal. I. Falcão, Newton Paulo de Souza. II. Oliveira, Danielle Monteiro de. III. Título

CDD 631.422 811 3

AGRADECIMENTO

A Deus pela vida, pelas oportunidades que tem me proporcionado e por me conduzir até aqui com saúde e proteção;

Aos meus queridos pais Rômulo e Maria da Saúde, por todo amor, apoio e confiança a mim depositada;

Aos meus irmãos Rafael e Samilly e a todos os familiares, que torcem pelas minhas realizações e compreenderam minha ausência enquanto me dedicava aos estudos;

Ao meu companheiro João Cleber, por sempre está presente, me incentivando e encorajando. Obrigada por todo amor e ajuda nesse trabalho;

Ao meu orientador Dr. Newton Paulo de Souza Falcão, pela oportunidade de desenvolver esse estudo, por todo suporte e contribuição ao meu crescimento profissional;

A Dra. Daniele Monteiro pela orientação e suporte no desenvolvimento da pesquisa;

Ao Grupo Terra Preta Nova, em especial o técnico Mozanei Porfirio e aos colegas Rúbia, Jaíne, Samara, e Breno, pela ajuda em campo e em laboratório, pelas trocas de experiência e momentos divertidos;

Aos técnicos e demais funcionários da Estação Experimental de Fruticultura Tropical (EEFT) do INPA, pelo apoio, atenção e receptividade durante toda condução do experimento;

Ao Laboratório Temático de Solos e Plantas (LTSP), por todo apoio e atenção na realização das análises químicas;

Ao Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia (INPA) e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências de Florestas Tropicais, pela oportunidade em cursar o mestrado;

A Coordenação de Aperfeiçoamento a Pessoa de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudo e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM) pelo apoio e financiamento da pesquisa;

A todos que contribuíram de alguma forma na realização deste trabalho.

RESUMO

O estabelecimento de novas áreas plantadas com pau-rosa pode contribuir com a preservação da população natural desses indivíduos, no entanto, a falta de informações relacionada ao manejo da fertilidade do solo, adubação e nutrição de pau-rosa tem sido um dos principais impasses no desenvolvimento desta cadeia produtiva. Dessa forma, um experimento de campo foi realizado para avaliar os efeitos da calagem, esterco de galinha e adubação mineral nas propriedades químicas do solo, concentrações de nutrientes nas folhas e no desenvolvimento inicial de pau-rosa (*Aniba rosaeodora*) em um latossolo amarelo distrófico. O estudo foi conduzido em blocos casualizado, com cinco tratamentos (T1 - controle; T2 - calagem; T3 - calagem e adubação mineral; T4 - calagem e esterco de galinha; e T5 - calagem, esterco de galinha e adubação mineral) e quatro repetições. Foram avaliadas as variáveis de crescimento (altura das plantas, diâmetro do coleto e número de folhas totalmente expandidas), concentrações dos macros e micronutrientes nas folhas e os atributos químicos do solo. Foi observado que, a calagem isolada e/ou combinada com a adubação mineral e com esterco de galinha, aumentou os valores de pH, reduziu os teores de alumínio trocável (Al^{3+}) e acidez potencial ($H + Al$) do solo nos tratamentos, em relação ao controle (T1). Nos tratamentos T4 e T5 os teores de P, K, Ca, Mg, Zn e Mn foram maiores. Em relação a nutrição das plantas, as concentrações de P e Ca foram maiores no tratamento completo (T5), por outro lado, as maiores concentrações de K e Mg foi observado nos tratamentos T3 e T2, respectivamente. O uso de fertilizantes não proporcionou ganhos significativos no crescimento das plantas de *Aniba rosaeodora* ao longo de 24 meses de avaliação. Portanto a calagem e a adubação melhoraram as características químicas do solo, bem como, aumentaram a concentração dos nutrientes do tecido foliar. No entanto, o crescimento das plantas foi pouco influenciado pelo efeito dos tratamentos, o que indica baixa responsividade da espécie a adubação na fase inicial de crescimento.

Palavras-chave: Nutrição mineral de plantas, calagem, silvicultura, NPK e esterco de galinha.

ABSTRACT

The establishment of new areas planted with rosewood can contribute to the preservation of the natural population of these individuals, however, the lack of information related to soil fertility management, fertilization and nutrition of rosewood has been one of the main stumbling blocks in the development of this production chain. A field experiment was therefore carried out to assess the effects of liming, chicken manure and mineral fertilization on soil chemical properties, leaf nutrient concentrations and the initial development of rosewood (*Aniba rosaeodora*) in a dystrophic yellow latosol. The study was conducted in a randomized block design with five treatments (T1 - control, T2 - liming, T3 - liming and mineral fertilization, T4 - chicken manure liming, and T5 - liming, chicken manure and mineral fertilization) and four replications. Growth variables (plant height, collar diameter and number of fully expanded leaves), macro and micronutrient concentrations in the leaves and soil chemical attributes were assessed. It was observed that liming alone and/or combined with mineral fertilization and chicken manure increased the pH values, reduced the levels of exchangeable aluminum (Al^{3+}) and potential acidity ($H + Al$) of the soil in the treatments, compared to the control (T1). In treatments T4 and T5, the levels of P, K, Ca, Mg, Zn and Mn were higher. With regard to plant nutrition, the concentrations of P and Ca were higher in the complete treatment (T5), while the highest concentrations of K and Mg were observed in treatments T3 and T2, respectively. The use of fertilizers did not provide significant gains in the growth of *Aniba rosaeodora* plants over 24 months of evaluation. Therefore, liming and fertilization improved the chemical characteristics of the soil and increased the concentration of nutrients in the leaf tissue. However, plant growth was little influenced by the effect of the treatments, which indicates the species' low responsiveness to fertilization in the initial growth phase.

Keywords: Plant mineral nutrition, liming, forestry, NPK and chicken manure.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo Geral	3
2.2. Objetivos específicos.....	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
3.1 Solos da Amazônia	4
3.2. Pau-rosa (<i>Aniba rosaeodora</i> Ducke.)	5
3.3 Nutrição de espécies florestais.....	7
3.4 Calagem e adubação de espécies florestais	8
4. MATERIAL E MÉTODOS	10
4.1 Local do estudo	10
4.2 Coleta e análise de solo da área de estudo.....	11
4.3 Descrição do experimento.....	11
4.4 Esterco de galinha.....	13
4.5 Variáveis avaliadas	13
4.5.1 Variáveis de crescimento	14
4.5.2 Análises químicas do solo.....	15
4.5.3 Concentração de nutrientes nas folhas.....	15
4.6 Análises estatística.....	16
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	16
5.1 Variáveis de crescimento	16
5.1.1 Crescimento em altura.....	16
5.1.2 Crescimento em diâmetro	18
5.1.3 Ganho foliar	18
5.2 Atributos químicos do solo	20
5.2.1 Efeito dos tratamentos no pH, Acidez trocável e Acidez potencial.	20
5.2.2 Efeito dos tratamentos nos teores de macronutrientes (N, P, K, Ca, mg) no solo.	21
5.2.3 Efeito dos tratamentos nos teores de micronutrientes (Fe, Zn e Mn) no solo.	23
5.2.4 Efeito dos tratamentos na CTC total (T), CTC efetiva (t), saturação por base (V), saturação por alumínio (m) e Soma de bases (SB) no solo.....	24
5.3 Concentrações de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg) nos tecidos foliares.	25
5.4 Concentrações de micronutrientes (Fe, Zn, Mn e Cu) nos tecidos foliares.	28
6. CONCLUSÃO	29
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Análise química do solo da área experimental 2020.....	11
Tabela 2. Análise química do esterco de galinha	13
Tabela 3. Médias dos valores de pH (H ₂ O), acidez trocável (Al ³⁺) e acidez potencial (H + Al) em função da adubação	21
Tabela 4. Teores médios de N, P, K, Ca e Mg no solo em função da adubação	22
Tabela 5. Teores médios de Fe, Zn e Mn no solo em função da adubação	24
Tabela 6. Médias dos valores da CTC efetiva (t), CTC potencial (T), Saturação por base (V), saturação por alumínio Al ³⁺ (m) e Soma de bases (SB) em função da adubação.....	25
Tabela 7. Médias das concentrações de N, P, K, Ca e Mg na folha em função da adubação.	26
Tabela 8. Médias das concentrações de Fe, Zn e Mn na folha em função da adubação.....	28

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Normal climatológica da região de estudo no período de 2021 a 2023.....	11
Figura 2. Croqui da área experimental.	12
Figura 3. Valores médios e desvio-padrão do Crescimento absoluto (CA) e taxa de crescimento absoluto (TCA) em altura de Aniba rosaeodora submetidas à adubação	17
Figura 4. Valores médios e desvio-padrão do crescimento absoluto (CA) e Taxa de Crescimento absoluto (TCA) em diâmetro de Aniba rosaeodora submetidas à adubação.....	18
Figura 5. Valores médios e desvio-padrão do ganho foliar de Aniba rosaeodora submetidas à adubação	19

1. INTRODUÇÃO

O pau-rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke) é uma espécie nativa da floresta amazônica, pertencente à família Lauraceae, com grande importância econômica, devido ao alto valor do óleo essencial obtido por destilação de folhas, galhos, caule e raízes, produto com grande demanda pela indústria de cosméticos e perfumaria fina mundial (Fidelis et al., 2012).

Ao longo de décadas o pau-rosa foi intensamente explorado, com corte indiscriminado de indivíduos adultos em idade de reprodução, reduzindo a regeneração natural e aumentando a erosão genética, além de reduzir as populações naturais, fato que levou à inserção na lista vermelha de espécies ameaçadas da União Internacional para Conservação da Natureza (UICN) (Sampaio et al., 2005; Blind et al., 2018; UICN, 2021).

Contudo, plantios comerciais de pau-rosa estabelecidos a partir de material genético originados de populações naturais, passam a abastecer a demanda do óleo essencial no mercado internacional (Krainovic et al., 2017). Em virtude disso, estabelecimento de novos plantios pode ser uma das soluções para proteção desta espécie de *Aniba* (Fidelis et al., 2012). A implantação de novas áreas, não apenas passam a contribuir na preservação da espécie, como também, na geração de emprego e renda na região Amazônica (Krainovic et al., 2017).

Apesar do grande entusiasmo por parte de empresários, agricultores e de populações tradicionais na produção sustentável do óleo de pau-rosa, a falta de informações relacionadas ao manejo da adubação e nutrição desta espécie tem sido um dos principais impasses no desenvolvimento desta cadeia produtiva (Lara et al., 2021). Em geral, os plantios de pau-rosa estão sob Argissolos e Latossolos distróficos, que de modo geral, apresentam teores baixos de bases trocáveis e fósforo disponível, baixa capacidade de trocar cátions, caracterizando-os com baixa fertilidade natural. Além disso esses solos apresentam elevada acidez ativa, potencial e trocável, com pH geralmente em torno de 4,4 e com elevada concentração de alumínio (Al) (Falcão e Silva, 2004; Moreira e Fageria, 2009; Quesada et al., 2011).

O nível adequado de nutrientes no solo é fundamental para o crescimento e desenvolvimento satisfatório das plantas, tendo em vista que o estado nutricional de uma planta afeta todos os processos fisiológicos e metabólicos, alterando a sua taxa

de desenvolvimento, a intensidade de crescimento e mesmo características morfológicas específicas (Epstein e Bloom, 2006; Marschner, 2012).

Segundo Lima (2006), o rendimento de biomassa e a composição de óleos voláteis de espécies aromáticas como o pau-rosa, estão relacionados diretamente a fatores fisiológicos e com a disponibilidade de água, luz, temperatura e nutrientes. Portanto, a adubação compreende como parte essencial no suprimento de nutrientes de espécies nativas resultando em maior crescimento, no acúmulo de biomassa, e no estabelecimento de novos plantios.

Nesse contexto, o uso da calagem e adubação são de extrema importância para melhorar a fertilidade dos solos e dar condições para um bom desenvolvimento das plantas. A calagem é fundamental para corrigir a acidez do solo, neutralizar o alumínio tóxico, fornecer Ca e Mg e aumentar a capacidade de troca de cátions no solo (Sousa et al., 2007; Cardoso et al., 2015). Como resultado, o uso de corretivo na acidez do solo aumenta a eficiência da adubação por meio da disponibilidade de nutrientes, assim contribui com a formação e qualidade de plantios florestais com maior produtividade (Silva et al., 2011).

Estudos com espécies amazônicas, mogno (Tucci et al., 2007; Seabra et al. 2017), pau-rosa (Valencia et al. 2010), angelim pedra (Sena et al., 2010), têm mostrado resultados positivos nas variáveis de crescimento e apontam que essas espécies respondem de forma positiva à calagem e à adubação. Por outro lado, outros estudos encontraram que tanto o pau-rosa (Ferreira, 2022) como outras espécies florestais (Tucci et al., 2011) não responderam a adubação na fase inicial. Dessa forma, são necessários estudos sobre aspectos nutricionais para esta espécie, em condições de campo, para colaborar com futuras recomendações de adubação e calagem no estado do Amazonas.

Diante da lacuna de conhecimento sobre adubação e nutrição mineral do pau-rosa e considerando-se que o processo produtivo e o nível tecnológico da cultura precisam ser melhorados no sentido de aumentar a produção e a produtividade, gerar conhecimentos para o aperfeiçoamento de práticas de cultivo e contribuir para geração de tecnologia que melhorem a produção no Estado, faz-se necessários estudos como este para contribuir com a conservação da espécie e gerar renda nos sistemas produtivos local. Diante disso, esta pesquisa partiu da hipótese que o

crescimento e desenvolvimento inicial dessa espécie é influenciado positivamente pelos efeitos da calagem e da adubação.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Investigar se a calagem e adubação influenciam no crescimento inicial do pau-rosa em um Latossolo amarelo distrófico.

2.2. Objetivos específicos

- Avaliar as variáveis biométricas de pau-rosa sob influência da calagem, adubação mineral e com esterco de galinha.
- Verificar alterações nos atributos químicos do solo em função da calagem, adubação mineral e com esterco de galinha.
- Avaliar o estado nutricional das plantas, após 24 meses da aplicação dos tratamentos.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Solos da Amazônia

A região amazônica é composta por grande diversidade de solos, resultantes de fatores de formação, variando do material de origem, condições climáticas, microrganismos, do relevo, elementos geomórficos e idade do solo (Sanchez et al., 1982; Quesada et al., 2011; Lima et al., 2006;).

As classes de solos de maior predominância na região compreendem os Argissolos (45%) e Latossolos (26%), seguidos dos Gleissolos Hápicos e Neossolos Flúvicos que predominam nas planícies de inundações e compreendem de 9%, os Espodossolos, que perfazem mais de 7%, os Plintossolos com 3,5% e, as demais classes, ocorrem em menor proporção como os Cambissolos e os Neossolos Quartzarênicos (Maia e Marmo, 2010).

Os solos apresentam características químicas e mineralógicas determinadas principalmente pelo material de origem do qual é formado. De modo geral, os solos da Amazônia estão estabelecidos nos ecossistemas de “várzea” e “terra firme”. São denominados como solos de várzea, as faixas de solos as margens dos rios e planícies de inundações, onde sofrem a deposição de material transportado na fase de inundação do rio, esse dinamismo afeta o processo pedogenético caracterizando como solos jovens, rasos com altos teores de silte e de areia fina e, normalmente apresentam elevados valores de cátions trocáveis e saturação por base com sedimentos em processo inicial de pedogênese (Lima et al., 2006; Jordan, 1982).

Os solos de terra firme são livres da influência dos rios, profundos, de áreas de platô, ricos em óxidos de ferro e alumínio, originados de sedimentos pobres como argilito e o arenito. São solos constituídos em sua maioria pelas classes Argissolos e Latossolos, caracterizadas pelo alto grau de intemperismo, baixa fertilidade natural, ácidos, baixa capacidade de trocas de cátions e minerais de argila de baixa atividade como a caulinita, hidróxidos, óxidos de ferro, alumínio e manganês (Ferreira et al., 2006; Vale Junior et al., 2011).

Solos da classe Argissolo apresentam horizonte subsuperficial tipo B textural imediatamente abaixo do A ou E de textura média a arenosa com incremento de argila e espessura variável. Os minerais predominantes são argilas de atividade baixa (caulinita) e/ou óxidos, sendo possível também apresentar o caráter alítico (Pedron et al., 2012; Maia e Marmo, 2010).

Os Latossolos são em geral, fortemente ácidos, com baixa saturação por bases, distróficos ou alumínicos e altamente intemperizados. Normalmente são solos profundos ou muito profundos sem incremento de argila em profundidade, com textura variando de média a muito argilosa com minerais predominantes na fração argila (1;1) são caulinita e óxidos de ferro e alumínio. Apesar da baixa fertilidade natural, teores reduzidos de bases trocáveis e fósforo e da alta saturação de alumínio, apresentam boas propriedades físicas e relevo plano a suave ondulado o que caracteriza com potencial de uso para cultivos, considerando a sua exigência em corretivos e adubos químicos e orgânicos (Chauvel, 1981; Teixeira, 2001; Maia e Marmo, 2010; Santos et al., 2018).

Por consequência, o sucesso na exploração agrícola e silviculturais desses solos dependem das técnicas de manejo adequadas, empregadas para melhorar as propriedades químicas, físicas e biológicas, consequentemente disponibilizar nutrientes essenciais para o crescimento das plantas.

3.2. Pau-rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke.)

O pau-rosa, pertencente à família Lauraceae. Essa família compreende das espécies que estão entre as de maior valor econômico no bioma Amazônico. Originário da região Amazônica, o Pau-rosa é encontrado no Brasil, Guiana, Suriname, Colômbia, Peru e Venezuela. No Brasil é largamente distribuída nos estados do Amazonas, Pará e Amapá (Guizado et al., 2020), sendo encontradas tanto em florestas de terra firme quanto em áreas de campinarana, preferencialmente em áreas de platôs e nascentes de igarapés das regiões norte e central da Amazônia (Sampaio et al., 2003).

O pau-rosa pode atingir até 30 m de altura e 2 m de diâmetro. Seu tronco é cilíndrico, reto e apresenta casca de cor marrom-amarelada. A floração ocorre de outubro a fevereiro, e a frutificação, apesar de ser bastante irregular, ocorre nos

meses de novembro a março. Os frutos sofrem bastante predação por insetos e pássaros, principalmente durante a fase intermediária de desenvolvimento até a maturação completa dos frutos, fator que dificulta a produção de mudas. No período de frutificação ocorre também a troca das folhas (Spironello et al., 2004; Maia e Andrade, 2007; Morais et al., 2009).

As plantas da família Lauraceae são caracterizadas como secundárias ou sucessionais tardias bem como, espécies clímax tolerantes à sombra (Blind et al., 2018). Contudo, estudos ainda apontam que em alguns casos esta espécie necessita da abertura de clareiras para a regeneração. Em viveiro, as mudas de pau-rosa, sob sombreamento entre 30 ou 50%, mostram ser favoráveis e tiveram maior desenvolvimento (Sampaio et al., 2003; Karsten et al., 2013).

A propagação ocorre principalmente via sementes, coletadas em áreas de difícil acesso, tarefa árdua considerando o número limitado de indivíduos da sua população natural. Outra alternativa ainda pouco utilizada, é a propagação vegetativa de estacas e miniestacas oriundas de material juvenil (Menezes et al., 2018).

O principal valor econômico do pau-rosa está relacionado à extração de óleo volátil constituído em média por 78% a 93% de linalol podendo chegar até 99% (Fidelis et al., 2012). O óleo essencial de pau-rosa possui aroma característico muito requisitado pela indústria de cosméticos internacional utilizado como excelente fixador na produção de fragrâncias, sabonetes e perfumes finos. (Krainovic et al., 2017; Maia e Andrade, 2007).

O óleo é extraído por meio da destilação do caule, raiz, galhos e folhas da planta. Diferenças no rendimento e qualidade e aroma do óleo em relação às partes da planta são descritas, onde as folhas apresentam rendimento de 2,4%, enquanto a biomassa da madeira 1,1 %. Em relação ao aroma dos compartimentos arbóreos de galhos e folhas, se mostram adocicados e o da madeira apresenta aroma que remete à lavanda, bem como também, há diferenças de aroma de óleo oriundo de regiões diferentes (Lima, 2006).

A alta demanda do produto no mercado internacional desencadeou a intensa exploração da madeira desde a década de 1920, o que resultou na inclusão na lista de espécie ameaçadas de extinção (Fidelis et al., 2012; UICN, 2021). Nessa época o óleo essencial dessa espécie chegou a ocupar o terceiro lugar dos produtos de

exportações na região Amazônica com destaque para os estados do Amazonas e Pará. (May e Barata, 2004).

É estimado que mais de dois milhões de árvores adultos de pau-rosa tenham sido extraídas predatoriamente. Embora estudos mostrem que a destilação proveniente de galhos e folhas apresente maior conteúdo de óleo em relação à madeira, também estimula maior acúmulo de biomassa por meio de podas, considerada prática econômica e ecologicamente viável (Lima, 2006).

3.3 Nutrição de espécies florestais

Na Amazônia, a floresta primária, em parte, está estabelecida sobre solos de terra firme considerados ácidos, deficientes em nutrientes e com baixa capacidade de trocas de cátions, atuando na resistência à lixiviação dos nutrientes necessários para assimilação pela vegetação. A floresta é mantida por um sistema aberto de trocas de massas e energia; recebe nutriente, água e exporta metabolitos não utilizáveis e água (Ferreira et al., 2006).

A exuberância da floresta de terra firme é assegurada por um mecanismo particular de disponibilidade e retenção de nutrientes essenciais à sua manutenção, ao lado da existência das condições básicas de calor e umidade. A manutenção da floresta de terra firme é garantida pela ciclagem de nutrientes, envolvendo um conjunto de mecanismos complexos de realimentação direta e indireta envolvendo solo e vegetação (Ferreira et al., 2006).

Considerando as características dos solos na Amazônia, a compreensão das exigências nutricionais de espécies florestais é imprescindível no planejamento da implantação de áreas de reflorestamento e ou florestamento, sendo esse, um dos principais fatores na produção e limitação do aumento de produtividade das plantas (Tucci, 1991; Souza et al., 2010).

A demanda por nutriente de uma planta dependerá da espécie, do estágio de desenvolvimento e das diferenças edafoclimáticas. Para as plantas desenvolverem por meio da realização das suas atividades metabólicas, carecem de um suprimento contínuo de minerais, onde os macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) são em geral requeridos em maior quantidade e micronutrientes (Fe, Zn, Mn, Mo, B, Cu, Cl e Ni) em menores quantidades. Por outro lado, a concentração de nutrientes dependerá

da disponibilidade dos nutrientes no solo, da interação entre os nutrientes, variando com a idade da planta e a época da realização da amostragem (Lima, 2006; Drumond et al., 1997).

Embora os micronutrientes apresentem concentrações menores nos tecidos e órgãos das plantas, possuem a mesma importância para o crescimento e desenvolvimento, como participação no transporte de elétrons na fotossíntese (Fe, Cu, Mn e Cl), constituintes das paredes e membranas celulares (B, e Zn), como ativadores de enzimas (Mn e Zn) e constituintes das enzimas (Fe, Mn, Cu, Ni) (Kirkby e Römheld, 2007).

Na busca de êxito no plantio de espécies florestais, as características da fertilidade do solo têm papel fundamental nessa tarefa. Porém, é necessário conhecimento do conjunto, ou seja, as exigências das espécies assim como o fornecimento adequado dos nutrientes pelo solo. Conseqüentemente, a melhoria do estado nutricional resultará em aumento de biomassa, na capacidade fotossintética e no melhor crescimento das árvores (Lopes, 2018; Yang et al., 2015).

Apesar dos avanços nas pesquisas, os estudos com exigências nutricionais de espécies nativas, incluindo o pau-rosa, ainda são incipientes. Através do conhecimento das exigências nutricionais é possível realizar a correção de deficiências de forma eficaz, de menor impacto ambiental e sem esbanjamento de fertilizante. Dessa forma, é possível obter plantas bem formadas e com desenvolvimento satisfatório em campo (Souza et al., 2010).

3.4 Calagem e adubação de espécies florestais

O sucesso na implantação de espécies florestais depende de um conjunto de fatores, entre eles o manejo da fertilidade dos solos para receber a espécie cultivada. Em solos que apresentam alto teor de acidez e pobres em nutrientes, limitando o crescimento das plantas, podem ser corrigidos por meio do uso de corretivos, como calcários, fertilizantes químicos e orgânicos (Venturin et al., 2000; Sena et al., 2010; Cardoso et al., 2015).

A calagem, no entanto, é a prática mais utilizada na correção de acidez no solo e conseqüentemente no aumento da disponibilidade de nutrientes e redução da concentração do Al tóxico. A correção da acidez no solo por meio da calagem ocorre

pela neutralização de prótons H^+ e do Al^{3+} tóxico, podendo fornecer tanto Ca^{2+} quanto Mg^{2+} e aumento nas concentrações de N e P, em consequência da maior atividade de microrganismos do solo, resultando no aumento das taxas de fotossíntese, seguidas de ganho de biomassa (Court et al., 2018; Chatzistathis et al., 2015; Sena et al., 2010).

Os bons resultados na utilização dessa técnica, em elevar o pH do solo e reduzir a toxidez de Al e Mn, favorece o melhor rendimento da cultura por meio de melhores condições para o crescimento radicular e da absorção de nutriente e água. Entretanto o resultado positivo dessa técnica é dependente de fatores, tais como teores de matéria orgânica no solo e argila (Batista, 2014; Tang et al., 2003).

Vários trabalhos demonstram que as espécies florestais respondem à calagem e à adubação. Tucci et al. (2007), reportam que a calagem associada à fosfatagem corretiva e adubação com nitrogênio, fósforo e potássio ocasionaram maiores conteúdos de nutrientes nas plantas, os quais proporcionaram maiores taxas de crescimento em mudas de mogno. Souza et al. (2010), também em trabalho com mogno em Latossolo Amarelo distrófico, na presença e ausência de calagem relatam a necessidade da correção da acidez juntamente a da fertilidade do solo, mesmo que o teor de matéria orgânica seja considerado alto.

Silva et al. (2008), visando identificar os efeitos da correção da acidez em um Latossolo Amarelo álico muito argiloso e do incremento de nutrientes sobre o desenvolvimento da sumaúma, constataram que a correção do solo favoreceu todas as características de crescimento avaliadas (altura da planta, diâmetro do colo, matéria seca da parte aérea, e da raiz) e influenciou positivamente a absorção de N, P, K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} e Mn e negativamente a de Cu e não alterou a de Fe e Zn.

Vieira e Weber (2017) verificaram que o crescimento inicial e a qualidade nutricional de mudas de *Tabebuia serratifolia* em um Latossolo Vermelho distrófico submetidas a diferentes níveis de saturação por bases do corretivo, foram influenciadas pela elevação da saturação por bases do solo, onde a elevação da saturação por bases a 70%, aumentou as concentrações de N, K, Ca, Mg e S para níveis satisfatórios. Demonstrando ser exigente em fertilidade do solo durante a fase em viveiro.

Com o intuito de avaliar o efeito da calagem e da adubação fosfatada no crescimento e qualidade de mudas de *Cassia grandis* em um Latossolo Vermelho-

Amarelo distrófico, Freitas et al. (2017) constataram que a adubação fosfatada influencia positivamente em todas as características de crescimento avaliadas (altura (H), diâmetro do coleto (DC), massa de matéria seca da parte aérea (MSPA), raiz (MSRA) e total (MST), de crescimento e qualidade das mudas. A dose adequada foi de 600mg dm^{-3} na saturação por base de 25%. Por outro lado, a calagem não apresentou efeito significativo nas características avaliadas, o que pode ser explicada pela adaptação da espécie a solos ácidos.

Em estudo para avaliar doses de calcário na correção de acidez de Latossolo Amarelo, na produção de mudas de pau-de-balsa, Tucci et al. (2010) constataram decréscimo no teor Al^{3+} , com efeito significativo a partir da dosagem de $0,75\text{ t ha}^{-1}$, consequentemente os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} aumentaram. Nas mudas de pau-de-balsa houve maior crescimento em diâmetro de colo e altura nas mudas que receberam dosagens de corretivo acima de 0,5. Na matéria seca da parte aérea, matéria seca do sistema radicular e matéria seca total, as dosagens foram de 1,0 a $2,0\text{ t ha}^{-1}$.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Local do estudo

O experimento foi conduzido em condições de campo na Estação Experimental de Fruticultura Tropical do INPA, localizada no município de Manaus, no Estado do Amazonas, Brasil, Km 42 da BR 174 ($02^{\circ}37'12''\text{ S}$, $060^{\circ}02' 27''\text{ W}$).

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Af, tropical chuvoso (úmido) com duas estações climáticas bem definidas: uma chuvosa (novembro-junho) e outra seca (julho-outubro). A precipitação média anual é de 2.286 mm, umidade relativa do ar de 80% com variação de temperatura entre $23,3^{\circ}\text{C}$ a $31,4^{\circ}\text{C}$ e média anual de $26,7^{\circ}\text{C}$ (Alvares et al. 2013). A distribuição mensal da precipitação pluviométrica e temperatura da região de estudo, no período em que o experimento foi conduzido, estão descritos na Figura 1.

Para tal, foram utilizadas mudas pau-rosa, oriundas do viveiro de mudas do Sítio Perfume da Mata, localizado no município de Manaus-AM, Km 30 da BR 174, produzidas a partir de sementes coletadas de matrizes nativas.

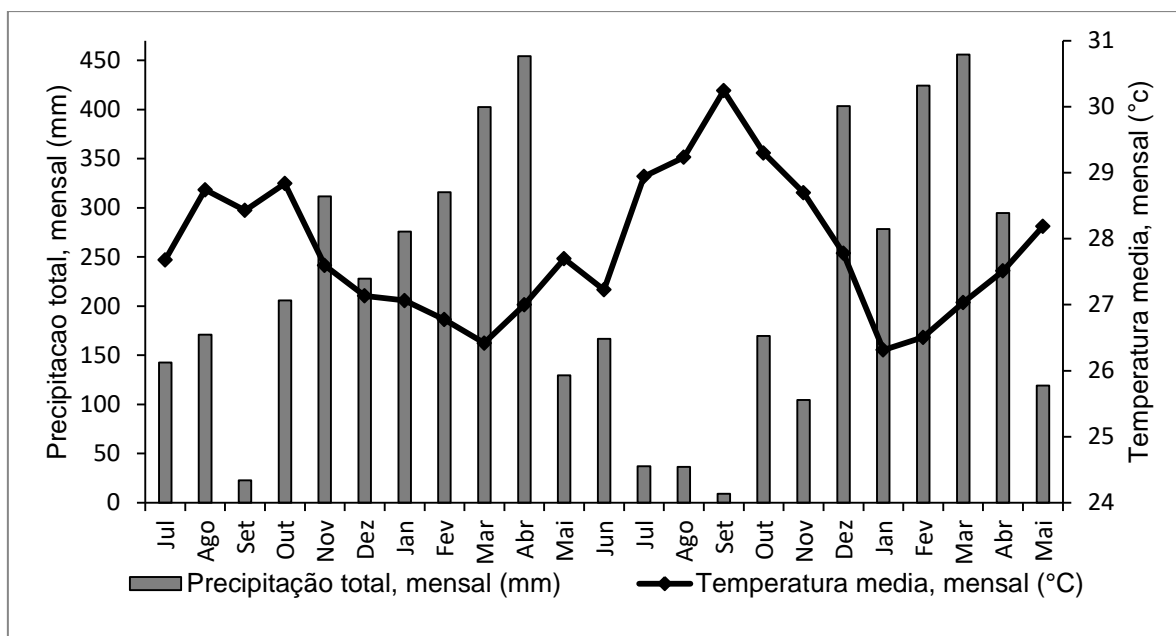


Figura 1. Normal climatológica da região de estudo no período de 2021 a 2023. **Fonte:** INMET (2023).

4.2 Coleta e análise de solo da área de estudo

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Amarelo distrófico (Santos et al., 2018). Anteriormente a instalação do experimento, foram coletadas amostras de solo na profundidade de 0-20 cm para a determinação das características químicas e granulométricas no Laboratório Temático de Solos e Plantas (LTSP) do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (Tabela 1).

Tabela 1. Análise química do solo da área experimental 2020.

Prof.	pH	N	Al	Ca	Mg	K	P	Fe	Zn	Mn	C	M.O	H+Al	SB	T	t	V	m
cm	H ₂ O	g Kg ⁻¹	-----cmol _c dm ³ -----					-----mg dm ³ -----			----g kg ⁻¹ -----		-----cmol _c dm ³ -----				-----%	
0 - 20	4,7	0,54	0,65	0,15	0,09	31,28	1,4	256	0,27	2,2	6,28	10,81	4,42	0,32	4,7	0,97	6,75	67,01

Prof. = profundidade do solo; SB=soma de bases; V= saturação por bases; T: capacidade de troca de cátions potencial; t: capacidade de troca de cátions efetiva; V: saturação por bases; m: saturação por alumínio.

4.3 Descrição do experimento

O delineamento experimental foi em blocos casualizado (DBC), composto por cinco tratamentos (T₁ = controle; T₂ = calagem; T₃ = calagem + formulado NPK (4-14-

8); T₄ = calagem + esterco de galinha; T₅ = calagem + esterco de galinha + formulado NPK (4-14-8) e quatro repetições. O experimento teve uma área total de 2.160 m², onde cada bloco teve 9,0 m de largura e 45,0 m de comprimento em um total de 405,0 m². Os blocos consistiram de 5 parcelas de 9,0 m de comprimento por 9,0 m de largura, totalizando 81 m² cada.

O plantio das mudas de pau-rosa foi realizado em consorcio com clones de café conilon, onde cada parcela teve três linhas, com seis plantas cada linha, sendo a linha central composta pelas mudas pau-rosa, dessas foram avaliadas as 4 plantas centrais e nas bordas ficaram as linhas com plantas de café conilon (figura 2).

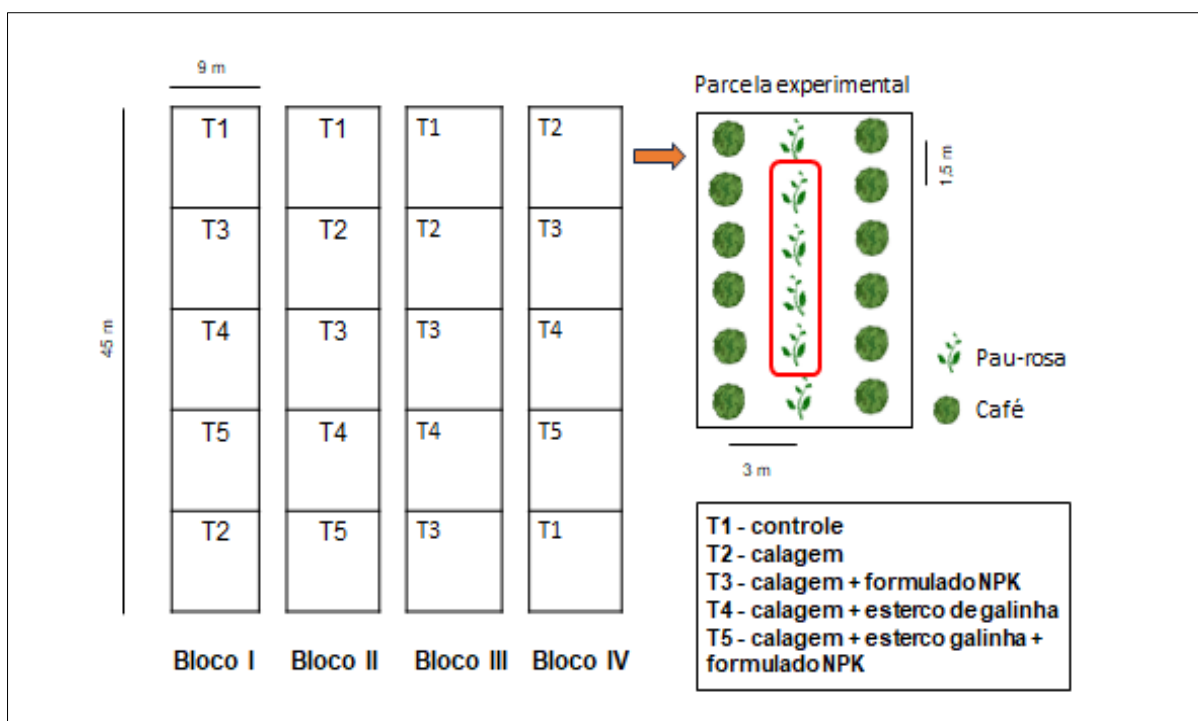


Figura 2. Croqui da área experimental.

Considerando o tempo de reação do calcário no solo, as covas de plantio que receberam tratamentos contendo calcário e também adubação com esterco de galinha, foram preparadas com dois meses de antecedência do plantio, nas dimensões de 30 x 30x 30 cm, utilizando-se o espaçamento 3,0 m entre linhas e 1,5 m entre plantas. O plantio das mudas em campo ocorreu no mês de julho de 2021 e as plantas apresentavam idade de aproximadamente 6 meses com altura média de 18,64 cm, diâmetro do coleto 3,48 mm e em média 7 folhas por indivíduo. Os

critérios de seleção das mudas incluíram o estado fitossanitário, vigor, e uniformidade de tamanho.

Nos tratamentos que receberam calagem, foi utilizado calcário dolomítico com poder relativo de neutralização total- PRNT de 91% na dose total de 2 t ha⁻¹. O esterco de galinha foi aplicado ao solo numa dose equivalente a 6,7 t ha⁻¹ (3,0 kg cova⁻¹). Já a adubação mineral foi aplicada na dosagem equivalente a 667 kg ha⁻¹ do formulado NPK (4%-14%-8%) no plantio. Após 10 meses do plantio, uma adubação de cobertura foi realizada nas plantas contidas nas parcelas com adubação mineral (T3, T4 T5), na dose equivalente de 49 kg ha⁻¹ de ureia, 36 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio e 22 kg ha⁻¹ de FTE BR (12).

Durante a condução do experimento foram realizados tratamentos culturais, tais como o controle de plantas invasoras por meio de roçadeira mecânica e o monitoramento do ataque de insetos como gafanhotos, formigas e lagartas. Ademais, foi construída estrutura com sombrite 50% de luminosidade, para o sombreamento na fase inicial das mudas em campo, sobre todas as parcelas. Sempre que necessário, às plantas foram irrigadas manualmente.

4.4 Esterco de galinha

O esterco de galinha utilizado foi proveniente da granja de frango Ovos São Pedro, situada no km 3 da Rodovia BR 174 no município de Manaus, Estado do Amazonas. A empresa tem como prioridade a produção de ovos, de frango e de carne, sendo o esterco um subproduto da cadeia produtiva. Com o esterco de galinha, foram realizadas análises das propriedades químicas, utilizando a metodologia proposta para análise de material orgânico pela Embrapa (1999).

Tabela 2 Análise química do esterco de galinha

	pH	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Zn	Mn
	H ₂ O	-----g kg ⁻¹ -----				-----mg kg ⁻¹ -----			
Esterco	9,79	11,75	35,82	27,45	191,8	12,95	3572	488	429,30

4.5 Variáveis avaliadas

A partir de 19 meses da aplicação dos tratamentos, foram avaliados os teores de macronutrientes nas folhas e os atributos químicos do solo. Por outro lado, as

últimas medidas de crescimento (Número de folhas totais, diâmetro do coleto (mm) e altura da haste principal (cm) foram realizadas até 24 meses após o plantio.

4.5.1 Variáveis de crescimento

A mensuração da altura das plantas foi realizada com fita métrica, padronizando a sua extremidade na base da planta rente ao solo posicionado verticalmente no sentido do topo da planta até última inserção foliar do ramo mais alto. O diâmetro do coleto foi mensurado utilizando-se paquímetro digital STARRET® (0 - 150 mm) (precisão de 0,02 mm) a 2 cm do nível do solo. O número de folhas totais foi determinado por contagem.

Posteriormente, a partir dos dados coletados, foram calculados o crescimento absoluto em altura e diâmetro (CA) (equação 1), taxa de crescimento absoluto em altura e diâmetro (TCA) (equação 2) e ganho foliar (GF) (equação 3), conforme metodologia de Bugbee (1996) e Davanzo et al. (2002).

Equação 1:

- $CA = V_f - V_0$

Onde:

CA - crescimento absoluto, em altura [cm] ou em diâmetro [mm]

V_f - variável final, altura [cm] ou diâmetro [mm]

V₀ - variável inicial, altura [cm] ou diâmetro [mm]

Equação 2:

- $TCA = (V_f - V_0) / (t_f - t_0)$

Onde:

TCA - taxa de crescimento absoluto, em altura [cm mês⁻¹] ou em diâmetro [mm mês⁻¹]

V_f - variável final, altura [cm] ou diâmetro [mm]

V₀ - variável inicial, altura [cm] ou diâmetro [mm]

t_f - tempo final do monitoramento

t₀ - tempo inicial do monitoramento

Equação 3:

- $GF = NF_f - NF_0$

Onde:

GF - Ganho foliar;

NF_f - número de folhas final;

NF₀ - número de folhas inicial

4.5.2 Análises químicas do solo

Para a determinação dos atributos químicos do solo, 19 meses após a aplicação dos tratamentos, foram coletadas três amostras simples em cada parcela experimental em uma distância de 20 cm da planta, nas profundidades de 0-20 cm, em seguida as amostras foram postas para serem secas ao ar, destorroadas e peneiradas (malha 2 mm), sendo transformadas em terra fina seca ao ar (TFSA).

Posteriormente levadas para caracterização química no Laboratório Temático de Solos e Plantas do INPA, onde foram determinados macro (N, P, K, Ca, Mg) e micronutrientes (Fe, Zn, Mn), potencial hidrogeniônico (pH), a acidez potencial (H+ Al), matéria orgânica (Mo) e alumínio trocável (Al).

O pH em água foi determinado por meio de eletrodo imerso em suspensão de uma solução solo/água na proporção de 1:2,5, para a leitura das amostras em pHmetro. Enquanto que acidez potencial (H+ Al) será extraída por acetato de cálcio $\text{Ca}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2$ 0,5 mol L⁻¹ e determinada por titulometria com hidróxido de sódio NaOH 0,025 mol L⁻¹.

N total foi determinado por meio do método de Kjeldahl, onde o N é determinado por acidimetria após digestão sulfúrica e destilação seguida de titulação (EMBRAPA, 1999). Cálcio (Ca), magnésio (Mg) e o alumínio trocável (Al⁺³), foi utilizada a solução extratora de cloreto de potássio (KCl) 1 mol L⁻¹, sendo o Al⁺³ determinado por titulometria com NaOH e o Ca e Mg determinados por espectrofotometria de absorção atômica de chama (Perkin-Elmer 1100B).

O fósforo (P), o potássio (K) e os micronutrientes Fe, Zn e Mn foram extraídos com solução Mehlich 1 (HCl 0,05 M+H₂SO₄ 0,0125 M), onde P foi determinado pelo método azul de molibdato e por espectrofotometria ($\lambda=660$ nm) e o K e micronutrientes (Fe, Zn e Mn) por espectrofotometria de absorção atômica.

4.5.3 Concentração de nutrientes nas folhas

As concentrações de nutrientes presentes nas folhas foram determinadas ao final do experimento, por meio de coleta das folhas de forma representativa por

parcela. O material vegetal coletado foi acondicionado em sacos de papel e transportado para o laboratório para a caracterização química, onde primeiramente as folhas foram lavadas em água destilada e secas em estufa a 65 °C até peso constante. Após o processo de secagem, as folhas foram moídas em moinho de facas tipo Willey e submetidas à análise dos macros e micronutrientes (N, P, K, Ca, Mg) sendo submetidas à digestão com duplo ácido ($H_2O_2 + H_2SO_4$).

N total foi determinado por meio do método de Kjeldahl, onde o N é determinado por acidimetria após digestão sulfúrica e destilação seguida de titulação (EMBRAPA, 1999). As concentrações de P foram determinadas por espectrofotometria. Já os macronutrientes K, Ca, Mg foram extraídos partir de digestão nitro-perclórica, determinados por de espectrofotometria de absorção atômica.

4.6 Análises estatística

Os dados obtidos a partir de cada variável foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk, comparados pela à análise de variância, obtendo-se resposta significativa para o teste F, o teste de Tukey (5%) foi realizado para comparação de médias utilizando o software estatístico R v. 4.0.2.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Variáveis de crescimento

5.1.1 Crescimento em altura

O uso de fertilizantes não proporcionou aumentos significativo no crescimento em altura das plantas, quando comparado aos tratamentos com ausência de adubação controle (T1) e apenas calagem (T2) ao longo de 24 meses de avaliação (Figura 3).

O crescimento absoluto médio variou de 36,46 cm no tratamento T2 a 57,17 cm no Tratamento T4. Em geral as plantas cresceram em média 2,1 cm por mês, sendo que, as plantas do tratamento com presença apenas de calagem (T2)

apresentaram menor crescimento, em contrapartida, as plantas do tratamento T4 (calagem e esterco de galinha) apresentaram crescimento levemente maior que os demais (Figura 4).

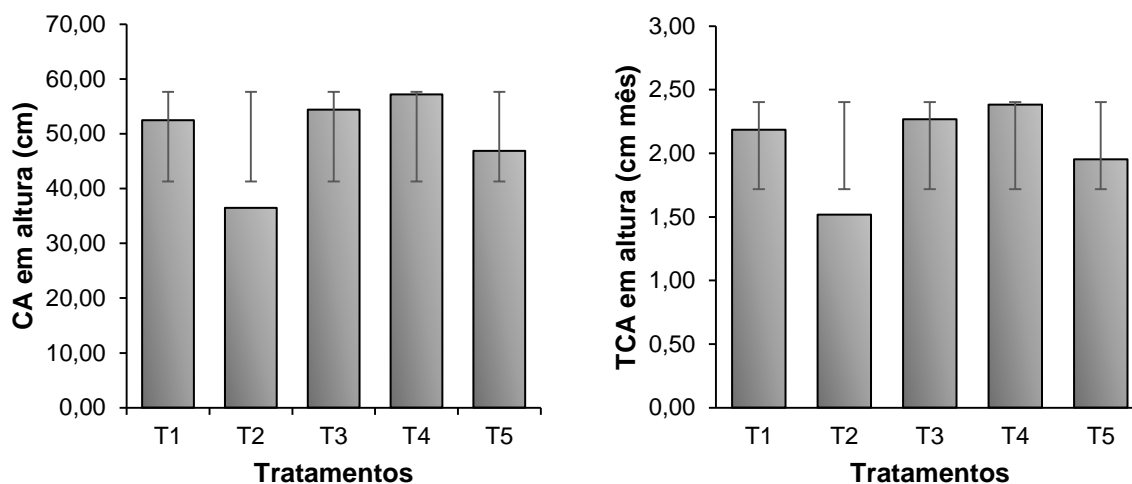


Figura 3. Valores médios e desvio-padrão do Crescimento absoluto (CA) e taxa de crescimento absoluto (TCA) em altura de *Aniba rosaeodora* submetidas à adubação (T1= Controle; T2= Calagem; T3= calagem + formulado NPK 4-14-8; T4= calagem + esterco de galinha e T5= calagem + esterco de galinha + formulado NPK 4-14-8).

Apesar da melhoria das propriedades químicas do solo, observa-se que as plantas foram pouco impactadas, evidenciando uma possível adaptação da espécie a solos ácidos e de baixa fertilidade. Além disso, a baixa resposta das plantas a adubação pode estar associada ao tempo de avaliação da espécie em campo, considerando seu grupo ecológico, uma vez que, espécies clímax tem como fatores evolutivos seu crescimento lento bem como a baixa capacidade fotossintética, baixa exigência nutricional, o que limita a resposta à melhoria nos níveis de fertilidade do solo, principalmente na fase inicial de vida (Macedo, 2008).

Valência et al. (2010), avaliando o crescimento de mudas de pau-rosa durante 135 dias, tendo como substrato um Argissolo, observaram que o baixo teor dos macronutrientes P e K não limitou o crescimento em altura das plantas, dessa forma, indicando uma alta eficiência das plantas a estes elementos.

Ferreira (2022), avaliou por 300 dias o crescimento de mudas de pau-rosa em campo sob diferentes condições de adubação, e não verificou vantagens no seu uso nos primeiros 300 dias após o plantio.

5.1.2 Crescimento em diâmetro

O crescimento absoluto (CA) e a taxa de crescimento absoluto (TCA) em diâmetro não mostraram aumentos significativos ($p < 0,05$) entre os tratamentos (Figura 4). Observa-se que os valores de TCA em diâmetro variaram de 0,24 mm mês⁻¹ (T5) a 0,32 mm mês⁻¹ nos tratamentos T3 e T4, por outro lado, os valores de CA variaram de 5,75 mm (T5) a 7,70 mm (T3).

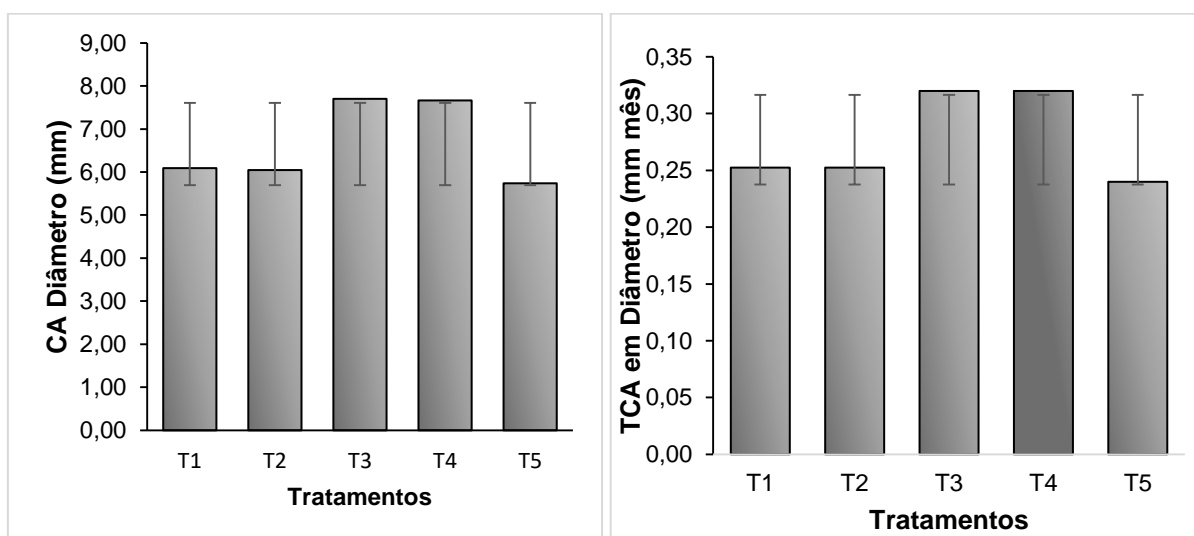


Figura 4. Valores médios e desvio-padrão do crescimento absoluto (CA) e Taxa de Crescimento absoluto (TCA) em diâmetro de *Aniba rosaeodora* submetidas à adubação (T₁= Controle; T₂= Calagem; T₃ - calagem + formulado NPK 4-14-8; T₄= calagem + esterco de galinha e T₅= calagem + esterco de galinha + Formulado NPK 4-14-8).

5.1.3 Ganho foliar

A calagem e a adubação com esterco de galinha (T4) e mineral (T3) influenciaram positivamente o ganho foliar. Uma vez que, o esterco é um adubo que contém todos os macros e micronutrientes essenciais para atender a demanda nutricional da planta, além de melhorar as qualidades físicas e biológicas do solo. Como também, a adubação mineral, aplicada em plantio e cobertura com macro e micronutrientes.

Por outro lado, nos tratamentos sem adubação (T1), somente calagem (T2) e com calagem, adubação mineral e orgânica (T5) as plantas apresentaram menor ganho foliar (Figura 5). Esse menor ganho foliar nos tratamentos T1 e T2 provavelmente ocorreu pela falta do fornecimento de nutrientes essenciais, uma vez que, o solo em condição natural (T1) apresentava baixa fertilidade natural e o T2 recebeu somente Ca e Mg via calagem. As plantas necessitam dos elementos essenciais para o bom crescimento e desenvolvimento (Malavolta E., 2006). Dessa forma, na ausência ou em quantidades insuficientes no solo, é necessário suplementação com adubação seja ela mineral ou orgânica.

Quanto ao tratamento T5, o baixo ganho foliar pode ter ocorrido em razão à quantidade maior de nutrientes fornecido ao solo, uma vez que, foi adicionada mais de uma fonte de nutrientes. Vale ressaltar, que o pau-rosa é uma espécie aparentemente pouco exigente em nutrientes (Macedo, 2008; Ferreira, 2022), e uma grande quantidade de adubo pode ter ocasionado estresse pela quantidade de sais próximo ao ambiente radicular. A alta concentração de nutrientes na base da planta leva ao estresse osmótico, dessa forma a planta tem dificuldade de absorver água pelas raízes, adaptando-se rapidamente seu metabolismo para uma condição de estresse hídrico, reduzindo seu crescimento da parte aérea (Taiz et al., 2017).

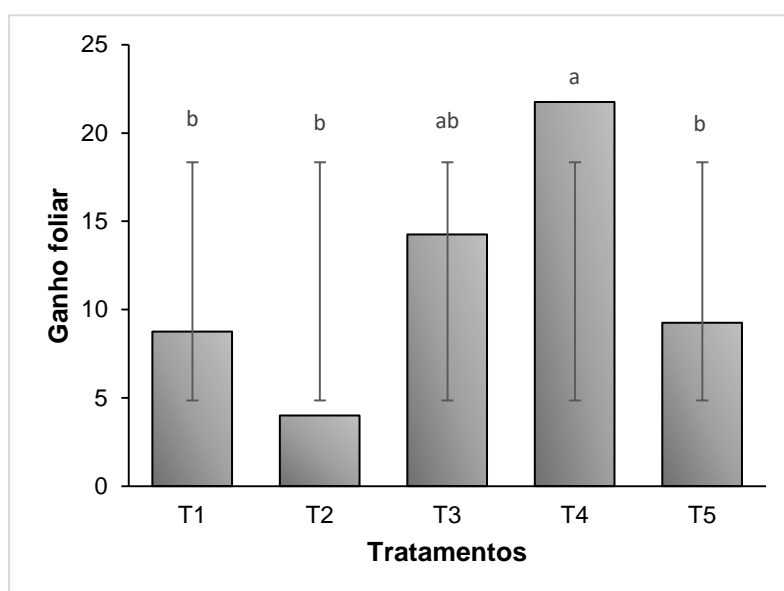


Figura 5. Valores médios e desvio-padrão do ganho foliar de *Aniba rosaeodora* submetidas à adubação (T1= Controle; T2= Calagem; T3 - calagem + formulado

NPK 4-14-8; T4= calagem + esterco de galinha e T5= calagem + esterco de galinha + Formulado NPK 4-14-8).

5.2 Atributos químicos do solo

Com exceção do nitrogênio total (N total) e CTC potencial (T) todas as variáveis foram significativamente influenciadas ($p < 0,05$) pelos tratamentos. Para melhor explicação dos resultados, os atributos químicos do solo foram separados por seções.

5.2.1 Efeito dos tratamentos no pH (H₂O), Acidez trocável (Al³⁺) e Acidez potencial (H + Al³⁺).

O resultado das análises após 19 meses da calagem e fertilização, mostram que a adição de calcário isolado e combinado com a adubação mineral e com esterco de galinha, afetou significativamente ($p < 0,05$) os valores de pH do solo nos tratamentos, aumentando seus valores em relação ao controle (T1) (Tabela 3), com destaque para o tratamento com presença de calcário e adubação com esterco de galinha (T4) que apresentou o maior valor (pH= 6,75).

Por consequência, houve a redução dos teores de alumínio trocável (Al³⁺) e acidez potencial (H + Al) no solo dos tratamentos com calcário isolado e combinado. Observa-se que, nos tratamentos com aplicação de calcário e presença de adubação orgânica (T4) e (T5), praticamente houve inexistência de alumínio. Por outro lado, apesar da redução dos valores da acidez potencial, os valores apresentados nos tratamentos T2 e T3 são considerados na faixa de acidez potencial “media” (Alvarez et al., 1999) juntamente a testemunha.

No solo, o calcário reage por meio da dissociação de Ca e Mg liberando ânions HCO₃⁻ e OH⁻ na solução do solo reagindo com cátions ácidos (H⁺, Al³⁺, Mn²⁺) formando H₂O, elevando o pH com a neutralização, o Al³⁺ tóxico (solúvel) passa para a forma insolúvel (não tóxica). Sendo assim, com a elevação do pH a valores superiores a 5,5, conseqüentemente o valor do Al³⁺ tendera ao valor de zero, não havendo a presença de alumínio na forma de Al³⁺ (Prezotti & M. Guarçoni, 2013).

A acidez do solo é um dos fatores limitantes no desenvolvimento das culturas agrícolas no geral. Isso por que, a toxidez pela alta concentração de alumínio inibe principalmente o desenvolvimento do sistema radicular das plantas e também

interfere na disponibilidade de nutrientes, como o P. Sendo assim, a pratica da calagem proporciona o melhor crescimento e desenvolvimento vegetal.

A exemplo, avaliando o efeito do calcário e a correção de Ca e Mg no desenvolvimento inicial de angelim-pedra (*Dinizia. excelsa*), em casa de vegetação sob Latossolo Amarelo como substrato, Sena et. al (2010) constatou que a aplicação de calcário favoreceu o crescimento de *D. excelsa* com destaque para o calcário magnesiano na relação 9:1. Assim como, a utilização de calcário influenciou as características morfológicas e a nutrição de mudas de *Tabebuia serratifolia*. a elevação da saturação por bases a 70% aumentou as concentrações de N, K, Ca, Mg e S nas mudas Vieira & Weber (2017).

Tabela 3. Médias dos valores de pH (H₂O), acidez trocável (Al³⁺) e acidez potencial (H + Al) em função da adubação (T1= Controle; T2= Calagem; T3 - calagem + formulado NPK 4-14-8; T4= calagem + esterco de galinha e T5= calagem + esterco de galinha + Formulado NPK 4-14-8).

	Tratamentos				
	T1	T2	T3	T4	T5
pH (H ₂ O)	5,21b	6,22ab	6,03ab	6,75 a	6,47ab
Al ³⁺ [cmol _c kg ⁻¹]	0,64a	0,08b	0,14b	0,08b	0,03b
H+Al [cmol _c kg ⁻¹]	4,28a	2,95ab	2,92ab	2,31b	2,18b

Letras diferentes indicam valores significativos entre tratamentos de fertilização (Teste de Tukey $p < 0,05$).

5.2.2 Efeito dos tratamentos nos teores de macronutrientes (N, P, K, Ca, mg) no solo.

Em relação à disponibilidade de macronutrientes no solo, observa-se (tabela 4) que os teores de N total não foram significativos entre os tratamentos estudados. Os teores variaram entre 0,90 g kg⁻¹ (T1) a 1,15 g kg⁻¹ (T4) classificando-os como “média” fertilidade segundo Cochrane et al. (1985). O N é conhecido como elemento mais limitante para as plantas, ao mesmo tempo em que tem uma elevada demanda pelas plantas para seu crescimento, é altamente susceptível a perdas por lixiviação e volatilização (Prezotti & M. Guarçoni, 2013). No solo os teores de N são pequenos, podendo variar desde traços a 5 g kg⁻¹ na camada superficial (Dechen & Nachtigall, 2007).

Os teores de P apresentaram altos valores nos tratamentos T3, T4 e T5, o que demonstra que a adubação orgânica e mineral, combinada e isolada, com a utilização de calcário proporcionou maior disponibilidade de P no solo (Tabela 4), contrariamente ao tratamento controle (T1) e somente e com calcário (T2), respectivamente, que apresentaram teores considerados “muito baixos”. Os baixos teores desse nutriente indica ser um forte limitante para o bom desempenho das plantas nos solos da região, considerando sua essencialidade.

O alto teor de P nos tratamentos mencionados acima pode ser justificado pelo uso do esterco de aves, que são em geral, bons fornecedores de P e K de forma disponível, tão quanto as outras formas minerais (Prezotti & M. Guarçoni, 2013). Outro fator pode estar relacionado ou extrator utilizado, onde o Mehlich-1 quantifica somente o P disponível às plantas, no entanto, por ser uma solução ácida, pode dissolver formas de P pouco solúveis, podendo apresentar teores mais elevados do que o realmente disponíveis as plantas (Prezotti & M. Guarçoni, 2013).

Tabela 4. Teores médios de N, P, K, Ca e Mg no solo em função da adubação (T1= Controle; T2= Calagem; T3 - calagem + formulado NPK 4-14-8; T4= calagem + esterco de galinha e T5= calagem + esterco de galinha + Formulado NPK 4-14-8) no crescimento inicial de pau-rosa.

	Tratamentos				
	T1	T2	T3	T4	T5
N [g kg ⁻¹]	0,90 _{ns}	0,86 _{ns}	1,03 _{ns}	1,15 _{ns}	1,12 _{ns}
P [mg kg ⁻¹]	3,85b	4,08b	177,58b	735,20a	716,22a
K [mg kg ⁻¹]	15,06b	15,3b	41,21a	19,31ab	39,79a
Ca [cmol _c kg ⁻¹]	0,18b	1,99a	1,49ab	2,66a	2,5a
Mg [cmol _c kg ⁻¹]	0,07b	1,11a	0,83a	0,87a	0,96a

Letras diferentes indicam valores significativos entre tratamentos de fertilização (Teste de Tukey $p < 0,05$).

Os maiores teores de K no solo foram observados nos tratamentos que em comum foi adicionado cloreto de potássio por meio da adubação mineral com NPK e calcário (T3 41,21 e T5 39,79 mg kg⁻¹) (Tabela 5), e do tratamento T4 (19,31 mg kg⁻¹) teores esses segundo Moreira e Fageria, (2009) são classificados como “baixo” para solos no estado do Amazonas. Já o tratamento somente com o calcário (T2 -

15,3 mg kg⁻¹) apresentou teor semelhante a testemunha (15,06 mg kg⁻¹), classificados como “muito baixo”.

Para Ca²⁺, os maiores teores foram encontrados nos tratamentos T4 – 2,66 cmol_c kg⁻¹, T5 - 2,5 cmol_c kg⁻¹, T2 - 1,99 cmol_c kg⁻¹ e T3 – 1,49, onde conforme interpretação da fertilidade do solo por Alvarez et al. (1999), T4 e T5 são considerados como “bom”, T2 e T3 classificado como “média” fertilidade. Assim como para Ca, o elemento Mg²⁺ nos tratamentos que receberam a calagem exibiu teores superiores ao tratamento T1, elevando o nível de “muito baixo” no tratamento T1 – 0,07 cmol_c kg⁻¹ para 1,11 cmol_c kg⁻¹ no tratamento T2 classificado como “bom”.

Os teores de Ca²⁺ e Mg²⁺ trocável no solo, disponível a absorção pelas plantas, estão diretamente ligadas a acidez dos solos. Solos ácidos costumam apresentar baixos teores destes cations. Portanto, podemos apontar que nesse estudo a aplicação de calcário além de corrigir a acidez do solo e reduzir a toxidez por Al, forneceu maiores teores de cálcio (Ca²⁺) e magnésio (Mg²⁺) trocáveis no solo.

5.2.3 Efeito dos tratamentos nos teores de micronutrientes (Fe, Zn e Mn) no solo.

De acordo com o resultado das análises, foram encontrados altos teores de ferro (Fe) no solo para todos os tratamentos (Tabela 5), onde variam de 169 mg kg⁻¹ a 223 mg kg⁻¹, teores esses, tido acima do considerado como “alto” por Alvarez et al. (1999). Uma vez que, em solos tropicais os teores de Fe são geralmente mais abundantes. O Fe é elemento, dentre os metais, encontrados em maior quantidade nos solos, variando de 10 a 100g kg⁻¹ (Abreu et al., 2007).

Os teores médios de zinco no solo diferiram significativamente entre os tratamentos, os tratamentos que não receberam adubação (T1 e T2) foram classificados como “baixo”, evidenciando que a adubação nos demais tratamentos foi eficiente, no entanto, foi elevando a níveis acima do considerado como “muito bom”. Semelhante a Zn, para o manganês (Mn) foi detectado altos teores nos tratamentos em que foi aplicado calcário, adubação orgânica, mineral e calcário + adubação orgânica, interpretados como acima de “muito bom” e os demais tratamentos como “baixo” e “muito baixo”.

Tabela 5. Teores médios de Fe, Zn e Mn no solo em função da adubação (T1= Controle; T2= Calagem; T3 - calagem + formulado NPK 4-14-8; T4= calagem + esterco de galinha e T5= calagem + esterco de galinha + Formulado NPK 4-14-8) no crescimento inicial de pau-rosa.

	Tratamentos				
	T1	T2	T3	T4	T5
Fe [mg Kg ⁻¹]	223 _{ns}	191 _{ns}	203 _{ns}	169 _{ns}	184 _{ns}
Zn [mg Kg ⁻¹]	0,79b	1,00b	8,93ab	15,54a	19,38a
Mn [mg Kg ⁻¹]	1,63b	2,93ab	4,79ab	14,21a	14,93a

Letras diferentes indicam valores significativos entre tratamentos de fertilização (Teste de Tukey $p < 0,05$).

5.2.4 Efeito dos tratamentos na CTC total (T), CTC efetiva (t), saturação por base (V), saturação por alumínio (m) e Soma de bases (SB) no solo.

Entre as características avaliadas, todas diferiram estatisticamente entre os tratamentos estudados, com exceção da CTC total (T) que apresentaram valores classificados como “média” capacidade de troca de cátions do solo medida à pH 7.

As aplicações de calcário, adubo mineral e orgânico de acordo com cada tratamento, proporcionaram o aumento expressivo nos valores da CTC efetiva (t) no solo (Tabela 6) em relação ao tratamento sem adição de fertilizantes (T1 – 0,93), esse considerado “baixo”, ainda assim, os valores são classificados como “médio”. Para Soma de bases (SB), também foram detectados acréscimos significativos de bases presentes no solo (K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺) nos tratamentos com diferentes tipos de fertilização em comparação com a testemunha.

A Saturação por base (V) do solo antes da aplicação dos tratamentos (Tabela 1), assim como no tratamento T1 (Tabela 6), expressam valores considerados muito baixos (T1 – 6,31), por outro lado, os demais tratamentos expressaram valores superiores, entre 44,92 % (T3) a 62,20 % (T4). Por meio da calagem permitiu-se elevar a saturação por base a valores adequados à exigências da maioria das culturas, das quais variam de 50% a 80% (Prezotti & M. Guarçoni, 2013). Esse aumento está relacionado à presença de bases (Ca e Mg) na composição química do calcário que atuam na neutralização do Al³⁺ e do H⁺, onde sítios de troca catiônica são ocupados por bases trocáveis, aumentando a saturação por bases.

Na saturação por Al^{3+} (m) do solo, com exceção no controle (T1), que apresentou concentrações consideradas “altas”, foram observados efeitos significativos da fertilização, com a redução positiva dos valores a níveis “muito baixos”, que variaram de 6,81% a 0,81% dos tratamentos T3 e T5, respectivamente. Sendo assim, quanto menor for a saturação por Al^{3+} , menor será a toxidez para as plantas.

Tabela 6. Médias dos valores da CTC efetiva (t), CTC potencial (T), Saturação por base (V), saturação por alumínio Al^{3+} (m) e Soma de bases (SB) em função da adubação (T1= Controle; T2= Calagem; T3 - calagem + formulado NPK 4-14-8; T4= calagem + esterco de galinha e T5= calagem + esterco aviário + Formulado NPK 4-14-8) no crescimento inicial de pau-rosa.

	Tratamentos				
	T1	T2	T3	T4	T5
t [$\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$]	0,93b	3,22a	2,57ab	3,65a	3,58a
T [$\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$]	4,58 _{ns}	6,08 _{ns}	5,34 _{ns}	5,75 _{ns}	5,86 _{ns}
V [%]	6,31b	52,07a	44,92a	62,2a	60,73a
m [%]	68,57a	3,12b	6,81b	2,07b	0,81b
SB [$\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$]	0,29b	3,14a	2,42a	3,58a	3,55a
M.O [g kg^{-1}]	18,59	19,93	21,05	22,2	21,41

Letras diferentes indicam valores significativos entre tratamentos de fertilização (Teste de Tukey $p < 0,05$).

5.3 Concentrações de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg) nos tecidos foliares.

Quanto à concentração de nutrientes no tecido foliar, a adubação proporcionou aumentos significativos na concentração dos nutrientes P, K, Ca e Mg. Por outro lado, para nitrogênio (N) não houve aumentos significativos (Tabela 7).

Apesar de não ser detectada distinção nas concentrações de nitrogênio nas folhas nos diferentes tratamentos, o nitrogênio foi o nutriente encontrado em maior concentração nos tecidos foliares, variando de 13,34 a 16,45 g kg^{-1} . Essa maior concentração de N na parte aérea das plantas é comum, visto que o N é o elemento mais requerido em quantidade para a maioria dos vegetais (Sorreano et al., 2012).

O nitrogênio é um elemento que exerce várias funções nas plantas, como componente de várias moléculas importantes, como da molécula de clorofila e está diretamente ligado ao processo da fotossíntese (Bang et al., 2021). Além disso, está relacionado a estruturas de proteínas aminoácidos, enzimas, ácidos nucléicos, e várias outras moléculas importantes (Epstein e Bloom, 2006). A deficiência desse

nutriente se apresenta principalmente na forma de clorose generalizada e crescimento atrofiado (Sorreano et al., 2012; Malavolta, 1985).

As concentrações de N neste estudo mostraram-se semelhantes às encontradas no estudo de Ferreira (2022), avaliando o crescimento inicial da mesma espécie em condições de campo, onde observou que as concentrações no tecido foliar variaram de 13,84 a 17,02 g kg⁻¹. Comparando a plantios comerciais de pau-rosa mais antigos na Amazônia Central, Desconci (2016) e Krainovic (2017) também encontraram concentrações de N semelhantes a este trabalho, com variações de 16,98 a 15,03 g kg⁻¹.

Tabela 7. Médias das concentrações de N, P, K, Ca e Mg na folha em função da adubação (T1= Controle; T2= Calagem; T3 - calagem + formulado NPK 4-14-8; T4= calagem + esterco de galinha e T5= calagem + esterco aviário + Formulado NPK 4-14-8) no crescimento inicial de pau-rosa.

	Tratamentos				
	T1	T2	T3	T4	T5
N [g kg ⁻¹]	14,00 _{ns}	13,34 _{ns}	14,89 _{ns}	16,45 _{ns}	14,74 _{ns}
P [g kg ⁻¹]	0,54 _{ab}	0,38 _b	0,70 _{ab}	1,25 _{ab}	1,59 _a
K [g Kg ⁻¹]	4,62 _b	5,24 _b	9,07 _a	8,83 _a	8,9 _a
Ca [g kg ⁻¹]	9,32 _{ab}	10,6 _{ab}	7,35 _b	9,2 _{ab}	11,35 _a
Mg [g Kg ⁻¹]	2,14 _b	3,44 _a	2,26 _b	2,69 _{ab}	2,85 _{ab}

Letras diferentes indicam valores significativos entre tratamentos de fertilização (Teste de Tukey $p < 0,05$).

As menores concentrações de P foram observadas nos tratamentos sem adubação, somente calcário (T2) - 0,38 g kg⁻¹ e controle (T1) - 0,54 g kg⁻¹, o que diferiu dos demais. Por outro lado, as plantas do tratamento completo (T5) apresentaram maior concentração foliar com média de 1,59 g kg⁻¹ (Tabela 7). Sendo assim, pode-se dizer que os tratamentos com adubação permitiram maior absorção de P pelas plantas.

O fornecimento de fosforo tem demonstrado respostas positivas no estado nutricional de espécies florestais, seja em campo ou em casa de vegetação (Carvalho, 2020; Seabra et al., 2017).

Dessa forma, valores semelhantes de P foram encontrados por Valencia et al. (2010), em que, avaliando crescimento inicial de pau-rosa em casa de vegetação, os autores observaram que o tratamento completo, permitiram maior absorção de P,

1,45. No entanto, esses autores relatam que o tratamento em que não foi adubado com fosforo foi o que obteve maior crescimento em altura com a concentração de $0,81 \text{ g kg}^{-1}$, o que aponta que as plantas de *A. rosaeodora* possuem baixo requerimento nutricional de P para seu crescimento, evidenciando sua adaptabilidade em solos deficientes em P como o caso dos solos da Amazônia.

Semelhante aos resultados de fosforo (P), as concentrações de potássio (K) foram afetadas significativamente pelos tratamentos, expressando maiores concentrações nos tratamentos que receberam calcário acompanhado de adubação, sendo ela mineral ou com esterco de galinha (T3, T4, T5), com valores que variaram de $8,83$ a $9,07 \text{ g kg}^{-1}$, valores esses semelhantes encontrados em outros estudos com uso de fertilização na mesma espécie (Valencia et al. 2010; Ferreira, 2022), por outro lado, os tratamentos com somente calagem e controle as concentrações variaram de $4,62$ a $5,24 \text{ g kg}^{-1}$, valores que são considerados muito baixos, devido a ausência de adubação com fontes de potássio.

As concentrações de Ca nas folhas variaram de $7,35$ a $11,35 \text{ g kg}^{-1}$ (tabela 7), essas são semelhantes às encontradas por Ferreira (2022) com concentrações de $6,69$ a $12,90 \text{ g kg}^{-1}$ e superiores às encontradas em outros estudos com a mesma espécie, mas em idades diferentes (Valência et al., 2010; Krainovic et al., 2017; Neves, 2019), onde se notou que as concentrações reduziram com o aumento da idade das plantas de *A. rosaeodora*.

Foram detectadas concentrações de Ca e Mg significativamente diferentes entre os tratamentos. As concentrações de Ca no geral foram apontadas como satisfatórias, considerando que a concentrações de Ca adequadas para o crescimento normal das plantas, de modo geral, está entre 10 e 50 g kg^{-1} . As plantas deficientes em Ca apresentam teores foliares menores de 4 g kg^{-1} (Dechen & Nachtigall, 2007). Para Mg, considera-se concentrações entre 2 a 4 g kg^{-1} como adequados para se ter um crescimento normal de plantas, no geral (Malavolta, 2006). Plantas adaptadas a solos ácidos tendem a ocorrer alta concentrações de Ca e Mg, indicando sua adaptação a esses solos como mecanismo para evitar estresse (Marschner, 1991).

Segundo Valencia et al. 2010, os elementos Ca e Mg foram importantes na produção de massa seca da parte aérea e para taxa de crescimento de relativo, mostrando assim relevantes para o aumento significativo da área foliar e índice

fotossintético para plantas de *A. rosaeodora*, onde em seu estudo suas concentrações variaram de 2,48 a 8,26 g kg⁻¹ para Ca e 0,82 a 2,7 g kg⁻¹ para Mg.

5.4 Concentrações de micronutrientes (Fe, Zn, Mn e Cu) nos tecidos foliares.

Entre os micronutrientes, o Fe é o elemento requerido em maiores quantidades pelas plantas, atuando nas reações de transporte de elétrons na fotossíntese, catalisa a biossíntese de clorofila e como constituinte de enzimas envolvidas nos processos de oxidação e redução (Kirkby & Römheld, 2007; Dechen et al., 2018). Nesse estudo, Fe não apresentou diferença nas concentrações entre os tratamentos, com valores que variam de 38,1 mg kg⁻¹ a 51,5 mg kg⁻¹ (Tabela 8). Valores esses semelhantes aos encontrados por Krainovic (2017), em plantios de pau-rosa com 4, 10 e 20 anos, com concentrações que variaram entre 36, e 56,4 mg kg⁻¹, e abaixo do encontrado por Neves (2019), em mudas de pau-rosa entre 77,55 mg kg⁻¹ e 91,34 mg kg⁻¹. As concentrações adequadas de Fe nas plantas, no geral, está entorno de 50 a 100 mg kg⁻¹ (Dechen, 2018), sendo verificados nesse estudo concentrações (38,1 mg kg⁻¹ a 51,5 mg kg⁻¹) abaixo do adequado. Vale destacar, que esses valores variam dependendo espécie e que para o pau-rosa ainda são incipientes os estudos de nutrição.

Tabela 8. Médias das concentrações de Fe, Zn e Mn na folha em função da adubação (T1= Controle; T2= Calagem; T3 - calagem + formulado NPK 4-14-8; T4= calagem + esterco de galinha e T5= calagem + esterco aviário + Formulado NPK 4-14-8) no crescimento inicial de pau-rosa.

	Tratamentos				
	T1	T2	T3	T4	T5
Fe [mg kg ⁻¹]	51,5 _{ns}	43,3 _{ns}	49,23 _{ns}	38,1 _{ns}	51,08 _{ns}
Zn [mg kg ⁻¹]	10,7 _{ab}	7,53 _{ab}	6,13 _b	9,2 _{ab}	14,4 _a
Mn [mg kg ⁻¹]	21,13 _a	2,53 _b	5,26 _b	5,35 _b	9,7 _b

Letras diferentes indicam valores significativos entre tratamentos de fertilização (Teste de Tukey $p < 0,05$).

As concentrações de Mn foliar foram maiores no tratamento controle (T1) 21,13 mg kg⁻¹, nos demais tratamentos em que houve aumentos no pH foi observado forte redução dos teores de Mn. O pH é um dos principais fatores

determinantes da disponibilidade de Mn (Kirkby & Römheld, 2007), ocorrendo correlação negativa entre o aumento do valor do pH e a concentração de Mn na planta, além das altas concentrações de nutrientes no solo como Fe, Ca, Mg e P que podem prejudicar a absorção de Mn (Marschner, 2012; Socha, A. L., & Guerinot, M. L. 2014). Os fatores citados corroboram com os resultados identificados nesse estudo (tabela 3 e tabela 4), ajudando a compreender o baixo teor de Mn encontrado nas folhas. De acordo com Dechen, (2018) a concentração media adequada de Mn (no geral) é de 20 mg kg⁻¹ a 100 mg kg⁻¹.

A concentração foliar de Zn foi influenciada pela aplicação dos tratamentos (Tabela 8), sendo observada no tratamento T5 a maior concentração (14,4 mg kg⁻¹). No entanto, os valores para Zn estão abaixo da concentração indicada como adequada para as plantas, que variam em torno de 20 mg kg⁻¹ – 50 mg kg⁻¹ (Dechen, 2018). Contudo, durante o período de experimentação, não foram observados sintomas de deficiência nutricional causada por esse elemento, por outro lado, é importante lembrar a carência de estudos científicos relacionados a nutrição adequada para essa espécie.

6. CONCLUSÃO

A calagem e adubação com esterco de galinha proporcionou ganhos significativos em número de folhas, até 24 meses de avaliação. Ademais, aumentou as concentrações dos nutrientes, principalmente de P, K e Mg.

Quanto aos atributos químicos do solo, de forma geral, a calagem reduziu a acidez do solo, com o aumento do pH e diminuição dos teores de alumínio trocável e acidez potencial, bem como, aumentou a CTC do solo e a saturação por bases. Como consequência, melhorou a disponibilidade de P, K, Ca, Mg, Zn e Mn, principalmente, nos tratamentos que receberam algum tipo de adubação.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abreu, C. A.; Lopes, A. S; Santos, G. C. G. 2007. Micronutrientes. *Fertilidade do solo*. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 646 - 724.

Alvares, C.A.; Stape, J.L.; Sentelhas, P.C.; Gonçalves, J.L.M.; Sparovek, G. 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*. 22 (6), 711-728. <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.

Alvarez, V.H.; Ribeiro, A.C. 1999. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: Ribeiro, A.C.; Guimarães, P.T.G.; Alvarez V, V.H. (Ed.). *Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação*. Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, Viçosa, p. 25-32.

Bang, T. C., Husted, S., Laursen, K. H., Persson, D. P., & Schjoerring, J. K. (2021). The molecular–physiological functions of mineral macronutrients and their consequences for deficiency symptoms in plants. *New Phytologist*, 229(5), 2446-2469.

Batista, I. M. P. (2014). *Recomendação de calagem para alguns solos do Estado do Amazonas*. Tese de Doutorado, UFAM, Manaus, Amazonas.

Blind, M. R., Costa, K. C. P. D., Silva, C. E. M. D., Sampaio, P. D. T. B., & Gonçalves, J. F. D. C. (2018). Fotossíntese de espécies de Anibae em resposta à exposição a ambientes contrastantes de luz. *Rodriguésia*, 69, 397-407. <https://doi.org/10.1590/2175-7860201869211>

Bugbee, G. 1996. Growth, analyses and yield components. In: Salisbury, F. B. (Ed.). Units, Symbols and Terminology for plant physiology, *Oxford University Press*, New York, p. 115-119.

Cardoso, S. A. A., Santos, J. Z. L., Tucci, C. A. F., Farias, E. P., & de Melo Moura, R. P. (2015). Influência da acidez e do teor de fósforo do solo no crescimento inicial do mogno. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 35(81), 1-10. DOI: <https://doi.org/10.4336/2015.pfb.35.81.667>

Carvalho, A. D. O. (2020). Sobrevivência, crescimento e características fotossintéticas de espécies florestais em resposta à fertilização fosfatada. Dissertação de mestrado, UFAM, Manaus, Amazonas.

Chauvel, A. (1981). Contribuição para o estudo da evolução dos latossolos amarelos, distróficos, argilosos na borda do platô, na região de Manaus: mecanismos da gibbsitização. *Acta Amazonica*, 11, 227-245. <https://doi.org/10.1590/1809-43921981112227>

Chatzistathis, T., Alifragis, D., & Papaioannou, A. (2015). The influence of liming on soil chemical properties and on the alleviation of manganese and copper toxicity in Juglans regia, Robinia pseudoacacia, Eucalyptus sp. and Populus sp. plantations. *Journal of Environmental Management* 149-156. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.11.020>

Court M, Heijdena G, Didiera S, Nysa C, Richterb P, Saint-Andréa L, Pousseb N, Legout A (2018) Long-term effects of forest liming on mineral soil, organic layer and foliage chemistry: Insights from multiple beech experimental sites in Northern France. *Forest Ecology and Management* 409: 872–889. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.12.007>

Davanso, V. M.; Souza, L. A.; Medri, M. E.; Pimenta, A.; Bianchini, E. 2002. Photosynthesis, Growth and development of *Tabebuia ovellanedae* Lor. Ex Griseb. (Bignoniaceae) in flooded soil. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 45: 375- 384.

da Silva, T. A. F., Tucci, C. A. F., Santos, J. Z. L., Batista, I. M. P., de Miranda, J. F., & de Souza, M. M. (2011). Calagem e adubação fosfatada para a produção de mudas de *Swietenia macrophylla*. *Floresta*, 41(3). DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v41i3.23992>

Dechen, A. R.; Nachtigall, G. R. (2007). Elementos requeridos à nutrição de plantas. Fertilidade do solo. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 91-128.

Dechen, A. R., et al., (2018). *Micronutrientes. Nutrição mineral de plantas 2º ed.* Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 491- 547.

Desconci, D. Biomassa e alocação de nutrientes em plantios comerciais de Pau-rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke), em duas regiões da Amazônia central. 2016.

Drumond, M. A., de Barros, N. F., de Souza, A. L., da Silva, A. F., & Teixeira, J. L. (1997). Composição mineral e demanda nutricional de espécies florestais da Mata Atlântica. *Revista Arvore*, Viçosa, v. 21, n. 1, p. 1-10, 199.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa). 1999. *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes*. Embrapa Informação Tecnológica, Brasília.

Epstein E. e BLOOM A.J. 2006. Nutrição mineral de plantas: Princípios e perspectivas. *Planta*, Londrina.

Falcão, N. P. D. S., e Silva, J. R. A. D. (2004). Características de adsorção de fósforo em alguns solos da Amazônia Central. *Acta Amazônica*, 34, 337-342. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672004000300001>

Ferreira, SJF, Luizão, FJ, Miranda, S.A. F., Silva, MDSRD, & Vital, ART (2006). Nutrientes na solução do solo firme na Amazônia enviado para a seleção de madeira da floresta. *Acta Amazônica*, 36, 59-67. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672006000100008>

Fidelis, C. H., Augusto, F., Sampaio, P. T., Krainovic, P. M., & Barata, L. E. (2012). Chemical characterization of rosewood (*Aniba rosaeodora* Ducke) leaf essential oil by comprehensive two-dimensional gas chromatography coupled with quadrupole mass spectrometry. *Journal of Essential Oil Research*, 24(3), 245-251. <http://dx.doi.org/10.1080/10412905.2012.676770>

Freitas, E. C. S. D., Paiva, H. N. D., Leite, H. G., & Oliveira, S. N. D. (2017). Crescimento e qualidade de mudas de *Cassia grandis* Linnaeus f. em resposta à adubação fosfatada e calagem. *Ciência Florestal*, 27, 509-519. <https://doi.org/10.5902/1980509827732>

Guizado, S. J. V., Nadeem, M. A., Ali, F., Barut, M., Habyarimana, E., Gómez, T. P., ... & Baloch, F. S. (2020). Genetic diversity and population structure of endangered

rosewood from the Peruvian Amazon using ISSR markers. *Acta Amazonica*, 50, 204-212. <https://doi.org/10.1590/1809-4392201902203>

Jordan, CF (1982). O balanço de nutrientes de uma floresta amazônica. *Ecology*, 63 (3), 647-654. <https://doi.org/10.2307/1936784>

Karsten, RJ, Jovanovic, M., Meilby, H., Perales, E., & Reynel, C. (2013). Regeneração em clareiras de dossel da floresta de terra firme na Amazônia peruana: comparando a extração de madeira de impacto reduzido e florestas naturais não manejadas. *Forest Ecology and Management*, 310, 663-671. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.09.006>

Kirkby, E. A., & Römheld, V. (2007). Micronutrientes na fisiologia de plantas: funções, absorção e mobilidade. *Informações agronômicas*, 118(2), 1-24.

Krainovic, P., Almeida, D., & Sampaio, P. (2017). Novas equações alométricas para apoiar o manejo sustentável de plantações de pau-rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke) na Amazônia Central. *Florestas*, 8 (9), 327. <https://doi.org/10.1590/1809-4392201902203>

Krainovic, PM, Almeida, DRAD, Desconci, D., Veiga-Júnior, VFD, & Sampaio, PDTB (2017). Manejo sequencial de plantações comerciais de pau-rosa (*Aniba rosaeodora* ducke) na Amazônia central: buscando modelos sustentáveis para produção de óleo essencial. *Florestas*, 8 (12), 438. <https://doi.org/10.3390/f8120438>

Lara, C. S., Costa, C. R., & Sampaio, P. D. T. B. (2021). O mercado de sementes e mudas de pau-rosa (*Aniba* spp.) no Estado do Amazonas. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 59. <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2021.221035>

Lima, H. N., Mello, J. W. V. D., Schaefer, C. E. G., Ker, J. C., & Lima, A. M. N. (2006). Mineralogia e química de três solos de uma topossequência da bacia sedimentar do Alto Solimões, Amazônia Ocidental. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 30(1), 59-68.

Lima, R. B. S. (2006). *Características fisiológicas e conteúdo de óleos Características voláteis em folhas de pau (Aniba rosaeodora-Ducke) em diferentes períodos de previsão Duck, na Amazônia Central*. Dissertação de mestrado, INPA Manaus, Amazonas.

Lopes, J.D.S. (2020). *Ciclagem de nutrientes, funções funcionais e crescimento de Bertholletia excelsa Bonpl. cultivado sob plantio puro à calagem*. Dissertação de mestrado, INPA, Manaus, Amazonas.

Macedo, S. T. D. (2008). Crescimento inicial de espécies pioneiras e clímax em resposta a aplicação de calcário e formulações de NPK em plantios para recuperação de áreas degradadas na região do Rio Urucu, Coari-Am. Dissertação de mestrado, INPA, Manaus, Amazonas.

Maia, M. A. M. e MARMO, J. L. Geodiversidade do Estado do Amazonas. CPRM, Manaus, 2010, 275 p.

- Maia, J. G. S., Andrade, E. H. A., Couto, H. A. R., Silva, A. C. M. D., Marx, F., & Henke, C. (2007). Plant sources of Amazon rosewood oil. *Química Nova*, 30(8), 1906-1910.
- Malavolta, E. (2006). *Manual de nutrição mineral de plantas* (Vol. 1). Sao Paulo: Agronômica Ceres.
- Malavolta, E.; Vitti, G.C.; Oliveira, S.A. (1997). *Avaliação do Estado Nutricional das Plantas -Princípios e Aplicações*. 2 ed. Piracicaba, SP: Potafós, pp 319.
- Malavolta, E. 1985. Absorção e transporte de íons e nutrição mineral. In: Ferri, M.G.(ed.). *Fisiologia vegetal* 1. São Paulo: EPU.p. 77-116.
- Marschner, H. (2012) Mineral nutrition of higher plants. 3. ed. London: *Elsevier*, 643.
- May, P. H., & Barata, L. E. (2004). Rosewood exploitation in the Brazilian Amazon: options for sustainable production. *Economic Botany*, 58(2), 257-265. [https://doi.org/10.1663/0013-0001\(2004\)058\[0257:REITBA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1663/0013-0001(2004)058[0257:REITBA]2.0.CO;2)
- Menezes, A., Sampaio, P. T. B., & Blind, A. D. (2018). Propagação de pau-rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke) por estacas e miniestacas. *Nucleus*, 15(1), 515-522. DOI: 10.3738/1982.2278.1829
- Morais, J. W., Fifueira, J. A. M., & Sampaio, P. D. T. B. (2009). Eficiência de inseticidas no controle de pragas em sementes e mudas de Pau-rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke), em viveiros, Manaus, Amazonas. *Acta Amazonica*, 39, 533-538. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672009000300007>
- Moreira, A.; Fageria, N. K. (2009). Soil chemical attributes of Amazonas State, Brazil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v. 40, n. 17–18, p. 2912–2925,
- Neves, A. G. N. (2019) Influência do biocarvão e adubação nitrogenada na produção de mudas de pau-rosa (*aniba rosaeodora ducke*) em Latosolo da Amazônia. Dissertação de mestrado, INPA, Manaus, Amazonas.
- Pedron, F. D. A., Samuel-Rosa, A., & Dalmolin, R. S. D. (2012). Variação das características pedológicas e classificação taxonômica de Argissolos derivados de rochas sedimentares. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 36, 1-9. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000100001>
- PREZOTTI, Luiz Carlos; GUARÇONI, A. M. *Guia de interpretações de análise de solo e foliar*. 2013.
- Quesada, C. A., Lloyd, J., Anderson, L. O., Fyllas, N. M., Schwarz, M., & Czimczik, C. I. (2011). Soils of Amazonia with particular reference to the RAINFOR sites. *Biogeosciences*, 8(6), 1415-1440. <https://doi.org/10.5194/bg-8-1415-2011>
- R Development Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.
- Sampaio, P. D. T. B., Barbosa, A. P., Vieira, G., Spironello, W. R., & Bruno, F. M. S. (2005). Biomassa da rebrota de copas de pau-rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke) em

plantios sob sombra parcial em floresta primária. *Acta Amazonica*, 35, 491-494. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672005000400014>

Sampaio, P. D. T. B., Santos, M. C. D., Vieira, G., Spironello, W., Useche, F. L., & Bruno, F. M. S. (2007). Avaliação rebrota da copa das árvores de pau-rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke) em sistema de podas sucessivas. *Acta Amazonica*, 37, 55-60. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672007000100006>

Sampaio, P. T. B.; Barbosa, A. P.; Vieira, G. e Spironello, W. R.; Ferraz, I.D.K. e Camargo, J.L.C. 2003. Silvicultura do Pau Rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke). In: Higuchi, N. et al. (orgs.). Projeto. Jacaranda Fase II: Pesquisas Florestais na Amazônia Central. Manaus: INPA, 2: 179-189.

Sanchez, P. A., Bandy, D. E., Villachica, J. H., & Nicholaides, J. J. (1982). Amazon Basin soils: management for continuous crop production. *Science*, 216(4548), 821-827. DOI:10.1126/science.216.4548.821

Santos, R. D.; Lemos, R. D.; Santos, H. D.; Ker, J.; Anjos, L. D. 2013. Manual de descrição e coleta de solo no campo. Viçosa. SBCS/EMBRAPA/CNPS.102p.

Santos, H. G. D., Jacomine, P. K. T., Anjos, L. H. C., Oliveira, V. A., Lumberras, J. F., Coelho, M. R., ... & Cunha, T. J. F. (2018). *Sistema brasileiro de classificação de solos*. *Embrapa Solos*. 5. ed., rev. e ampl. – Brasília. DF 356 p.

Seabra, C. E. B. C.; Osiecka, A.; Andersen, P. C.; Tucci, C. A. F.; Pereira, B. F. F.; Minogue, P. J. 2017. Influência das limitações de fósforo no crescimento, partição de nutrientes e fisiologia de mudas de balsa (*Ochroma pyramidale*). *Journal of Tropical Forest Science*, 29(4): 530–540. <https://doi.org/10.26525/jtfs2017.29.4.530540>

Sena, J. D. S., Tucci, C. A. F., Lima, H. N., & Hara, F. A. D. S. (2010). Efeito da calagem e da correção dos teores de Ca e Mg do solo sobre o crescimento de mudas de angelim-pedra (*Dinizia excelsa* Ducke). *Acta Amazonica*, 40, 309-317. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672010000200009>

Silva, A. R. M., Tucci, C. A. F., Lima, H. N., de Souza, P. A., & Venturin, N. (2008). Efeitos de doses crescentes de calcário na produção de mudas de sumaúma (*Ceiba pentandra* L. Gaertn). *Floresta*, 38(2). DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/rev.v38i2.11623>

Spironello, W. R., Sampaio, P. D. T. B., & Ronchi-Teles, B. (2004). Produção e predação de frutos em *Aniba rosaeodora* Ducke var. *amazonica* Ducke (Lauraceae) em sistema de plantio sob floresta de terra firme na Amazônia Central. *Acta Botanica Brasilica*, 18, 801-807. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062004000400010>

Socha, A. L., & Guerinot, M. L. (2014). Mn-euvering manganese: the role of transporter gene family members in manganese uptake and mobilization in plants. *Frontiers in Plant Science*, 5, 106.

Sorreano, Maria Claudia Mendes; RODRIGUES, Ricardo Ribeiro; BOARETTO, Antonio Eneidi. Guia de nutrição para espécies florestais nativas. 2012.

Souza, C. A. S. D., Tucci, C. A. F., Silva, J. F. D., & Ribeiro, W. O. (2010). Exigências nutricionais e crescimento de plantas de mogno (*Swietenia macrophylla*

King.). *Acta Amazônica*, 40, 515-522. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672010000300010>

Souza, C. A. M. D., Oliveira, R. B. D., Martins Filho, S., & Lima, J. S. D. S. (2006). Crescimento em campo de espécies florestais em diferentes condições de adubações. *Ciência Florestal*, 16, 243-249. <https://doi.org/10.5902/198050981905>

Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. (2017). *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. Artmed Editora.

Tang, C., Rengel, Z., Diatloff, E., & Gazey, C. (2003). Responses of wheat and barley to liming on a sandy soil with subsoil acidity. *Field Crops Research*, 80(3), 235-244. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(02\)00192-2](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(02)00192-2)

Teixeira, W. G. (2001). Land use effects on soil physical and hydraulic properties of a clayey ferralsol in the Central Amazon. *Embrapa Amazônia Ocidental-Tese/dissertação (ALICE)*.

Tucci, C. A. F., Lima, H. N., Gama, A. D. S., Costa, H. S., & Souza, P. A. D. (2010). Efeitos de doses crescentes de calcário em solo Latossolo Amarelo na produção de mudas de pau-de-balsa (*Ochroma lagopus* sw., bombacaceae). *Acta Amazonica*, 40, 543-548. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672010000300013>

Tucci, C. A. F., de Souza, P. A., Venturin, N., & Barros, J. G. (2007). Calagem e adubação para a produção de mudas de mogno (*Swietenia macrophylla* King). *Cerne*, 13(3), 299-307.

Tucci, C. A. F. 1991. *Phosphorus availability in soils of the Amazon*. Tese Doutorado em Solos, UFV, Viçosa, Minas Gerais. 142pp

IUCN. 2021. A Lista Vermelha de Espécies Ameaçadas da IUCN. Versão 2021-3. <https://www.iucnredlist.org>. Acessado em [23 de fevereiro de 2022].

Vale Júnior, J. F., de Souza, M. I. L., Nascimento, P. P. R., & de Souza Cruz, D. L. (2011). Solos da Amazônia: etnopedologia e desenvolvimento sustentável. *Revista Agro@mbiente On-line*, 5(2), 158-165. <https://doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v5i2.562>

Valencia, W. H.; Sampaio, P. de T. B.; Souza, L. A. G. 2010. Crecimiento inicial de Palo de Rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke) en distintos ambientes de fertilidad. *Acta amazônica*, 40(4):693 – 698. <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672010000400008>.

Venturin, R. P., Bastos, A. R. R., Mendonça, A. V. R. & de Carvalho, J. G. (2000). Efeito da relação Ca: Mg do corretivo no desenvolvimento e nutrição mineral de mudas de aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Fr. All.). *Cerne*, 6(1), 30-39.

Vieira, C., & Weber, O. (2017). Saturação por bases no crescimento e na nutrição de mudas de ipê-amarelo. *Floresta e Ambiente*, 24.

Yang M, Tan L, Xu Y, Zhao Y, Cheng F, Ye S, Jilang W (2015) Effect of low pH and aluminum toxicity on the photosynthetic characteristics of different fast growing Eucalyptus vegetatively propagated clones. *Plos One*: 1-15.