



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS E
AMBIENTAIS

AVALIAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO DA ANDIROBA (*Carapa guianensis*
Aubl.) EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS IMPLANTADOS NA TERRA
INDÍGENA ANDIRÁ-MARAU

HERMES GREGÓRIO MELGAR SALDARRIAGA

**AVALIAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO DA ANDIROBA (*Carapa guianensis*
Aubl.) EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS IMPLANTADO NA TERRA
INDÍGENA ANDIRÁ-MARAU**

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Ciências Florestais e
Ambientais da Universidade Federal do
Amazonas como requisito para a obtenção
do título de Mestre em Ciências Florestais e
Ambientais.

Orientadora: Dra. Angela Maria da Silva Mendes

Coorientadora: Dra. Sônia Sena Alfaia

Manaus – AM
2025

Ficha Catalográfica

Elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

-
- | | |
|-------|--|
| S162a | <p>Saldarriaga, Hermes Gregório Melgar</p> <p>Avaliação do desenvolvimento da andiroba (<i>Carapa guianensis</i> aubl.) em sistemas agroflorestais implantados na terra indígena Andirá-Marau / Hermes Gregório Melgar Saldarriaga. - 2025.</p> <p>59 f. : il., color. ; 31 cm.</p> <p>Orientador(a): Angela Maria da Silva Mendes.</p> <p>Coorientador(a): Sonia Sena Alfaia .</p> <p>Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Amazonas, Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais, Manaus, 2025.</p> <p>1. Produto Florestal Não Madeireiro. 2. Atributos do Solo. 3. Qualidade de Sementes. 4. Andiroba . 5. Dados dendrométricos. I. Mendes, Angela Maria da Silva. II. Alfaia, Sonia Sena. III. Universidade Federal do Amazonas. Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais. IV. Título</p> |
|-------|--|
-

HERMES GREGÓRIO MELGAR SILDARRIAGA

**AVALIAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO DA ANDIROBA (*Carapa guianensis*
Aubl.) EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS IMPLANTADO NA TERRA
INDÍGENA ANDIRÁ-MARAU**

Dissertação
apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
Ciências Florestais e Ambientais da
Universidade Federal do Amazonas como
requisito para a obtenção do título de Mestre
em Ciências Florestais e Ambientais.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Angela Maria da Silva Mendes
Universidade Federal do Amazonas

Prof. Dr. Manuel, de Jesus Vieira Lima Junior
Universidade Federal do Amazonas

Dr. Valdiek da Silva Menezes
Instituto Nacional de Pesquisa do Amazonas

Manaus – AM

2025

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus primeiramente por iluminar minha mente com sabedoria para concluir o Mestrado e pelas oportunidades profissionais que me concedeu.

A Universidade Federal do Amazonas (UFAM) pela oportunidade de me ofertar um curso de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais (PPGCIFA).

À Profa. Dra. Angela Maria da Silva Mendes minha orientadora, pessoa de amplo conhecimento e caráter inigualável; uma profissional muito competente e de experiência nas áreas da pesquisa e extensão rural.

Igualmente meu agradecimento à Profa. Dra. Sonia Sena Alfaia minha coorientadora, pelo apoio nas minhas viagens de estudo e orientações na área de amostragens dos solos.

Aos professores do PPGCIFA/UFAM, em especial ao Prof. Dr. Manuel de Jesus Vieira Lima Junior coordenador do programa, pelo apoio em tudo o que eu solicitei e contribuições preciosas na pesquisa.

Aos servidores do Laboratório de Solos do INPA; técnica do laboratório Roberta e técnico do laboratório Jonas pelo apoio nas análises de solo.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM) pela bolsa de estudos concedida; e apoio ao projeto: Iniciativa Amazônia + 10; “ Modelos de restauração florestal; geração de renda, redução do desmatamento e valorização de remanescentes florestais de agricultores familiares e comunidades indígenas Amazônicas.

Ao Consórcio dos Produtores Sateré – Mawé, Senhor Obadias Garcia, pela permissão para executar meus estudos de pesquisa nas terras indígenas Andirá – Marau.

Ao amigo Lennon Simões Azevedo pelas ideias sempre criativas e ensinamentos para a organização dos dados obtidos.

Ao amigo e parceiro Francisco Ailton Silva pelo apoio em tudo.

Aos colegas do curso, todos sem exceção, muitos me deram grande apoio e ajuda, agradeço de coração.

E claro aos meus pais, Hermes Melgar Cabrera, Luzmila Esther Saldarriaga Palácios e meus irmãos a quem devo muito e nunca poderei pagar o apoio e amor infinito.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVOS	13
2.1 Objetivos Geral.....	13
2.2 Objetivos Específicos	13
3. REVISÃO DE LITERATURA	14
3.1 Importância dos Produtos Florestais Não Madeireiros (PFNM).....	14
3.2 Importância dos Sistemas Agroflorestais (SAFs) como sistema produtivo	15
3.3 Utilização da Andiroba (<i>Carapa guianensis</i> Aubl.)	16
4. MATERIAL E MÉTODOS	19
4.1 Área do estudo	19
4.2 Características de crescimento das andirobas.....	21
4.3 Caracterização do solo dos diferentes SAFs.....	21
4.4 Análise dos dados.....	24
4.5 Características de frutos e sementes.	25
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
5.1 Crescimento de andirobas com 10 anos de idade	27
5.2 Características dos solos dos diferentes SAFs.....	33
5.3 Correlações entre atributos químicos do solo por SAF	36
5.4 Relação descritiva entre atributos de solo e crescimento médio anual por SAF	40
5.5 Características de frutos e sementes de andirobas com 10 anos em SAFs.....	43
6. CONCLUSÃO.....	51
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	52

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Localização do Sistema Agroflorestal 1 (Comunidade Nova União).....	20
Figura 2.	Localização do Sistema Agroflorestal 2 (Comunidade Vinte Quilos).....	20
Figura 3.	Localização do Sistema Agroflorestal 3 (Comunidade Guaranatuba).....	21
Figura 4.	Posição da amostragem do solo.....	22
Figura 5.	Comparação das médias dos parâmetros dendrométricos.....	29
Figura 6.	Correlação entre o incremento médio anual em DAP.....	30
Figura 7.	Correlação entre o incremento médio anual em altura total.....	32
Figura 8.	Matriz de dispersão, histogramas e coeficientes de correlação de Pearson para os atributos químicos do solo.....	38
Figura 9.	Análise de Componentes Principais (PCA) dos atributos químicos do solo.	39
Figura 10.	Relação entre o incremento médio anual em altura total de <i>Carapa guianensis</i>	41
Figura 11.	Relação entre o incremento médio anual em DAP de <i>Carapa guianensis</i>	42
Figura 12.	Médias das porcentagens de sementes de <i>Carapa guianensis</i> intactas e com danos.....	46
Figura 13.	Aspectos das sementes de <i>Carapa guianensis</i> capturadas por imagens de Raio X, coletados de indivíduos da floresta e de indivíduos com 10 anos.	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Classificação de fertilidade do solo comum da Amazônia.....	24
Tabela 2.	Atributos químicos do solo dos diferentes SAFs.....	34
Tabela 3.	Médias por SAF de crescimento e atributos químicos do solo.....	39
Tabela 4.	Características biométricas de frutos de <i>Carapa guianensis</i>	44
Tabela 5.	Médias das dimensões dos frutos de <i>Carapa guianensis</i>	44
Tabela 6.	Características biométricas de sementes de <i>Carapa guianensis</i>	45
Tabela 7.	Médias das dimensões de sementes de <i>Carapa guianensis</i>	46

RESUMO

Carapa guianensis Aubl. conhecida popularmente como andiroba é uma árvore amazônica de usos múltiplos que apresenta propriedades farmacológicas e cosméticas reconhecida internacionalmente, sendo considerada uma das principais espécies para a exploração de Produtos Florestais não Madeireiro (PFNM) e como componente florestal em Sistemas Agroflorestais (SAFs). Devido a importância da espécie e potencial dos SAFs para sequestro de carbono atmosférico em terras tropicais degradadas, este estudo teve como objetivo avaliar as características dendométricas, qualidade dos frutos e sementes e a fertilidade do solo, em indivíduos de andiroba com 10 anos, implantadas em SAFs nas Terras Indígenas (TI) Sateré-Mawé, na calha do rio Andirá. A pesquisa foi realizada em três SAFs nas Comunidades da TI Sateré-Mawé, rio Andirá. Em cada SAFs foram mensurados 10 indivíduos; coletado amostras do solo ao redor das árvores mensuradas em duas profundidades e; coletado frutos de forma aleatória entre os 10 indivíduos. Os indivíduos de andiroba com 10 anos de idade, cultivados em SAFs apresentaram crescimento vegetativo e reprodutivo satisfatórios. Foi observado produção de frutos em todos os indivíduos mensurados com DAP de 9,5 a 36,9 cm e Altura total 3,0 a 19,0 m. De forma geral, as características físicas do solo, a fertilidade do solo e o manejo dos SAFs, influenciaram no crescimento das andirobas. O SAF com melhor desempenho das andirobas, apresenta maior densidade entre as espécies e é composto por frutíferas nativas e exóticas. Esses padrões destacaram o SAF 3 por apresentar os maiores teores médios de nutrientes e exibir maior integração entre os atributos do solo, caracterizando um ambiente edáfico mais equilibrado e possivelmente mais favorável ao desenvolvimento das espécies cultivadas. As características biométricas de frutos e sementes produzidos nos SAFs avaliados, são semelhantes aos da floresta. Não houve diferença entre os SAFs no tamanho de frutos e sementes. A maior perda na qualidade das sementes é por predação por larvas de insetos e fungos, tanto as sementes procedentes dos SAFs quanto as da floresta. A avaliação da qualidade das sementes pelo método de Raio X, permitiu avaliar e interpretar com segurança, as imagens das sementes com e sem danos de forma direta, podendo-se ainda, fazer a separação das sementes boas das sementes de má qualidade, sem destruir a semente.

Palavras-chave: Produto Florestal Não Madeireiro, Atributos do Solo, Qualidade de Sementes, Dados Dendrométricos, Sistema de Produção.

ABSTRACT

Carapa guianensis Aubl., popularly known as andiroba, is an Amazonian tree with multiple uses and internationally recognized pharmacological and cosmetic properties. It is considered one of the main species for the exploitation of Non-Timber Forest Products (NTFP) and as a forest component in Agroforestry Systems (AFS). Due to the importance of the species and the potential of AFS for atmospheric carbon sequestration in degraded tropical lands, this study aimed to evaluate the dendrometric characteristics, fruit and seed quality, and soil fertility of 10-year-old andiroba trees established in AFSs in the Sateré-Mawé Indigenous Lands (TI), in the Andirá River basin. The research was conducted in three AFSs in the communities of the Sateré-Mawé TI, on the Andirá River. In each AFS, 10 individuals were measured; soil samples were collected around the measured trees at two depths; Fruits were randomly collected from the 10 individuals. The 10-year-old andiroba individuals grown in AFS showed satisfactory vegetative and reproductive growth. Fruit production was observed in all measured individuals with DBH ranging from 9.5 to 36.9 cm and total height from 3.0 to 19.0 m. In general, soil physical characteristics, soil fertility, and AFS management influenced andiroba growth. The AFS with the best andiroba performance has the highest density among the species and is composed of native and exotic fruit trees. These patterns highlighted AFS 3 for presenting the highest average nutrient contents and exhibiting greater integration between soil attributes, characterizing a more balanced soil environment and possibly more favorable to the development of cultivated species. The biometric characteristics of fruits and seeds produced in the evaluated AFS are similar to those of the forest. There was no difference between the AFSs in fruit and seed size. The greatest loss in seed quality is due to predation by insect larvae and fungi, both for seeds from AFS and those from the forest. Seed quality assessment using the X-ray method allowed for the safe evaluation and interpretation of images of damaged and undamaged seeds directly, allowing for the separation of good from poor quality seeds without destroying the seed.

Keywords: Non-Timber Forest Product, Soil Attributes, Seed Quality, Dendrometric Data, Production System.

1. INTRODUÇÃO

A floresta e os rios da Amazônia abrigam uma enorme variedade de espécies, algumas endêmicas outras ameaçadas de extinção e muitas ainda desconhecidas. Essa biodiversidade é importante para o mundo inteiro. Todas as espécies deste sistema incrivelmente biodiverso, representam soluções para um conjunto de desafios biológicos e podem ter um potencial transformador e gerar benefícios para toda a humanidade (Lovejoy, 2019).

A Bacia Amazônica se destaca pela sua enorme área e por apresentar um dos índices de diversidade biológica mais elevada do planeta, o que tem chamado a atenção de cientistas e naturalistas de todo o mundo. A biodiversidade da Amazônia é fundamental para o desenvolvimento ecológico e humano, além de influenciar nos processos econômicos nacionais e internacionais (Sá et al., 2019). Em regiões de alta diversidade social e biológica como a Amazônia, a bioeconomia deve gerar valor agregado para a economia regional a partir da floresta em pé, dos rios fluindo e da valorização do conhecimento e dos modos de vida das populações tradicionais. Isso deve ser uma prioridade para tomadores de decisão, produtores ou investidores que desejam investir em bioeconomia na Amazônia (WRI, 2022).

Atualmente tem crescido a expectativa de participação dos produtos florestais não madeireiros (PFNM) como parte do manejo florestal sustentável, uma vez que estes desempenham papel crucial na subsistência de grande parcela da população que mora na floresta. A Organização das Nações Unidas para o Combate à Fome (FAO) definiu em 1995 os PFNM como: “Todos os bens de origem biológica, assim como os serviços derivados da floresta e terra sob uso similar e exclui a madeira em todas as suas formas” (Embrapa-Acre, 2021). Os PFNMs desempenham um papel essencial na região amazônica, contribuindo para a integração entre a conservação da biodiversidade e o fortalecimento da bioeconomia (Araujo et al., 2024). No entanto, as relações entre o desmatamento e as cadeias de suprimentos de PFNMs são investigadas em 532 municípios em toda a Amazônia brasileira. A produção de PFNMs de açaí (*Euterpe* spp.), andiroba (*Carapa* spp.), castanha-do-pará (*Bertholletia excelsa*) e fava tonka (*Dipteryx* spp.) reduziu com o aumento das taxas de desmatamento (Brandão et al., 2021).

Os Sistemas Agroflorestais (SAFs) são uma alternativa para a mitigação das mudanças climáticas e a restauração de terras, aliando a segurança alimentar e o restabelecimento dos serviços ecossistêmicos. Diversos sistemas agroflorestais são uma

estratégia eficiente para restaurar a cobertura florestal em solos degradados da Amazônia, aliando o restabelecimento e a produção de serviços ecossistêmicos (Celentano et al., 2020). Brandão et al. (2021) afirmam que sem a presença de esforços de restauração florestal empregando SAFs, as atividades sociais e econômicas de pessoas e empresas estão em risco, e a produção e a diversidade de PFNMs são cada vez mais reduzidas pelo desmatamento da Amazônia. Os SAFs sustentam maior biodiversidade do que sistemas agrícolas por apresentarem maior diversidade de plantas, incluindo espécies nativas, maior complexidade estrutural e maior heterogeneidade de habitat e paisagem (Haggar et al., 2019).

As espécies florestais que se destacam na Amazônia representam uma fonte importante de recursos naturais para as populações tradicionais e para o desenvolvimento da região, muitas espécies de árvores das florestas de várzea e terra firme são utilizadas por comunidades locais para uso madeireiro e não madeireiro. Dentre essas espécies está a andiroba, que nos inventários florestais aparece como uma das espécies de maior densidade e valor de importância (Bentes-Gama, 2002; Silva et al., 2015).

A andiroba (*Carapa guianensis*) é uma espécie de árvore de uso múltiplo que desempenha um papel socioeconômico crucial em milhares de comunidades tradicionais e indígenas da Amazônia (Dantas et al., 2016; Londres et al., 2017). A andiroba é um dos principais produtos florestais não madeireiros exportados para os Estados Unidos e Europa, e possui diversas aplicações nas indústrias de cosméticos, alimentos, têxteis e repelentes. Os subprodutos da andiroba têm sido utilizados em processos sustentáveis de produção de óleo e como fertilizantes e condicionadores de solo, matéria-prima para a produção de sabão, surfactantes biodegradáveis e uma fonte natural alternativa de polímero biodegradável, a fim de reduzir os impactos ambientais (Silva et al., 2023; Santos et al., 2025). Pesquisa relacionada a utilização de espécies florestais em SAFs na Amazônia, indicam que *C. guianensis* é a mais utilizada em plantios de enriquecimento e, é a espécie preferida pelos agricultores (Pompeu et al., 2009).

Nesse contexto, torna-se importante realizar estudos que caracterize os indivíduos de *C. guianensis*, levando-se em consideração a idade dos plantios e variação de solos, em SAFs implantados nas Terras Indígenas Sateré-Mawé; sistema amplamente difundido em suas terras, com produtos não madeireiros de grande potencial econômico como o guaraná e o pau-rosa.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Avaliar as características dendométricas, qualidade dos frutos e sementes e a fertilidade do solo, em indivíduos de andiroba (*Carapa guianensis*) com 10 anos, implantadas em Sistemas Agroflorestais (SAFs) nas Terras Indígenas (TI) Sateré-Mawé, na calha do rio Andirá.

2.2. Objetivos Específicos

Caracterizar os indivíduos de andirobas com 10 anos nos diferentes SAFs.

Relacionar a fertilidade do solo dos diferentes SAFs, como crescimento das andirobas.

Avaliar a qualidade física de frutos e sementes por meio da biometria e aspectos interno das sementes pela captura de imagens de Raio X, de indivíduos com 10 anos dos diferentes SAFs e da floresta.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Importância dos Produtos Florestais Não Madeireiros (PFNM)

Os produtos florestais não madeireiros (PFNMs) são todos os produtos advindos da floresta que não sejam madeira, como: folhas, frutos, flores, sementes, castanhas, palmitos, raízes, bulbos, ramos, cascas, fibras, óleos essenciais, óleos fixos, látex, resinas, gomas, cipós, ervas, bambus, plantas ornamentais, fungos e produtos de origem animal (BRASIL, 2020). Os PFNM's são vistos como alternativas ao desenvolvimento sustentável na Amazônia, pois não há a necessidade da supressão da cobertura florestal, sendo, portanto, um dos fatores que podem diminuir a taxa de desmatamento das florestas (Santana et al., 2017; Brito et al., 2019).

Os PFMNs contribuem para a subsistência de mais de 6 milhões de pessoas nos biomas da Amazônia e mais de 4 milhões de pessoas do Cerrado. Existem cadeias de mercado para 45 e 58 PFNM na Amazônia brasileira e no Cerrado, respectivamente (Ribeiro et al., 2020). Recentes estudos que avaliam os aspectos sociais indicam que os PFMNs são mais importantes para as pessoas de baixa renda, e compensam os déficits de renda, mas que não aliviam significativamente a pobreza (Leakey, 2017; Frey et al., 2018; Mello et al., 2020). A interação desses atores com a floresta vai além de considerações econômicas, abrangendo conexões culturais, de subsistência e espirituais. Essas percepções ressaltam a necessidade de uma abordagem abrangente e sustentável para o manejo de PFMNs na Amazônia, garantindo que a conservação da biodiversidade e o empoderamento das comunidades locais sejam buscados integralmente. Essa perspectiva holística é vital para promover uma bioeconomia resiliente na região (Araujo et al., 2024). Entre PFMNs da Amazônia com maior valor de produção, destacam-se o açaí (*Euterpe oleracea*), que rendeu R\$ 6,1 bilhões em 2021; a castanha-da-amazônia (*Bertholletia excelsa*), R\$ 130 milhões; e as amêndoas da palmeira babaçu (*Attalea speciosa*), R\$ 67 milhões. Os demais PFNM registrados nas estatísticas oficiais do extrativismo na região superam R\$ 10,5 bilhões em valor de produção (Lopes et al., 2023; IBGE, 2021).

Os PFMNs podem ser provenientes de florestas plantadas ou de florestas naturais, independentes de sua origem o manejo florestal é de suma importância para manutenção da atividade (Fernandes, 2020). A importância do manejo e do uso desses produtos é que, na maioria das vezes, ao explorá-los não há necessidade de derrubar a árvore, constituindo

uma alternativa para conservar a floresta em pé e com reflexos positivos nos aspectos social, econômico e ambiental. Porém, uma compreensão clara dos efeitos das iniciativas de desenvolvimento baseadas em PFNMs e como os impactos são gerados é essencial para aproveitar o potencial da bioeconomia para alcançar o desenvolvimento sustentável para a Amazônia brasileira (Rosenfeld et al., 2024). Estudos realizados por Steele et al. (2015), demonstraram que houve uma forte relação positiva entre os impactos ecológicos e a dependência dos PFNM, que indicou quanto maior a dependência e a procura de PFNM, maior é a possibilidade de elevados impactos no ambiente local.

3.2. Importância dos Sistemas Agroflorestais (SAFs) como sistema produtivo

Agroflorestamento, Manejo Agroflorestal ou Sistema Agroflorestal (SAF) é definido por Nair (1993) e por Somarriba (2012) como a combinação e interação biológica, de árvores, cultivos agrícolas e/ou animais, na mesma superfície da terra, para satisfazer as necessidades do produtor. E tem como objetivo diversificar a produção, controlar a agricultura migratória, aumentar o nível de matéria orgânica no solo, fixar nitrogênio, reciclar nutrientes, modificar o microclima, sequestrar carbono e aperfeiçoar o sistema de produção.

Os Sistemas Agroflorestais (SAFs) representam atividades integradoras, que otimizam o uso da terra e apresentam potencialidades tanto no sentido ecológico quanto econômico, ou seja, permitem sustentabilidade ambiental e socioeconômica (Schemberge et al., 2017). Desenvolvidos principalmente no contexto da agricultura familiar, os SAFs promovem uma produção mais diversa, favorecendo a segurança alimentar e a geração de renda aos agricultores ao longo do tempo (Camargo et al., 2019; Pereira et al., 2025). As soluções ao dilema do desenvolvimento econômico a conservação da biodiversidade e segurança alimentar, viram mais facilmente logo da difusão de experiências de agroflorestamento familiar de sucesso, baseadas nas interações sociais, como a biodiversidade e no manejo e adaptação às condições dos solos e da biodiversidade (Silva et al., 2019).

Os SAFs são biodiversos e possuem alta capacidade para melhorar o meio ambiente, pois são formados por plantios de diferentes espécies vegetais na mesma área; nesses sistemas incluem-se árvores e arbustos nativos ou exóticos e culturas agrícolas de diferentes ciclos (Camargo et al., 2019; Alves et al., 2019). Os SAFs mantêm níveis intermediários de biodiversidade entre florestas naturais e usos do solo puramente

agrícolas e podem, portanto, aumentar a conectividade ou sustentar a biodiversidade em paisagens florestais fragmentadas (Haggar et al., 2019).

Sistemas agroflorestais podem promover um ambiente com conforto térmico mais adequado ou menos restritivo ao desempenho animal, o que contribui para a mitigação das mudanças climáticas globais para os sistemas forrageiros-pecuários na Amazônia brasileira (Magalhães et al., 2020). O potencial dos SAFs para sequestro de carbono atmosférico em terras tropicais degradadas é de interesse fundamental para políticas de mudanças climáticas e desenvolvimento rural. Os SAFs estruturalmente mais complexos oferecem uma alternativa para recuperar terras degradadas e desenvolver sinergias entre mitigação das mudanças climáticas, adaptação e produção de bens na Amazônia (Cardozo et al. 2022).

A utilização de SAFs é uma opção viável que concorre para melhor utilização do solo, para reverter os processos de degradação dos recursos produtivos, para aumentar a disponibilidade de madeira, de alimentos e de “serviços ambientais” (conservação dos solos, controle dos ventos, redução na contaminação da água e do ar, recuperação de áreas degradadas, entre outros) (Ribaski et al., 2001). A esses aspectos, os autores supracitados adicionam que a introdução do componente florestal no sistema, constitui-se em alternativa de aumento de emprego e da renda rural. A inclusão de árvores nos sistemas agrícolas também pode otimizar a ciclagem de nutrientes e ter efeitos positivos nas propriedades químicas e físicas do solo.

Diversas espécies arbóreas é um elemento chave para manter a produção de matéria orgânica e gerar outros benefícios positivos, além de permitir a diversificação de produtos (Pinho et al., 2012). Estudo realizado por Condé et al. (2013), em SAFs de Rondônia verificaram que a andiroba (*Carapa guianensis*) e o mogno (*Swietenia macrophylla*) são espécies que apresentaram potencial para plantio, visando à extração de produtos madeireiros e não madeireiros em áreas florestais submetidas ao desmatamento e degradação na Amazônia.

3.3. Utilização da Andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.)

O nome da árvore conhecida por andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.), vem dos termos tupis “nhandi” que significa óleo, e “rob” que quer dizer amargo; pertencente à família Meliaceae, encontra-se associada com outras espécies florestais, sendo típica de terrenos alagados pelas marés e nas ilhas baixas, em toda a Amazônia e afluentes (UEPA

– Herbário, 2021). *C. guianensis* é uma árvore de grande porte pode atingir até 55 m de altura, comumente atingem 25-35 m. Possui fuste cilíndrico e reto que varia de 20 m a 30 m, de comprimento. podendo apresentar sapopemas. A copa é de tamanho médio, densa e composta por ramos eretos ou com uma leve curvatura, proporcionando uma sombra intensa. A casca é grossa e amarga e apresenta uma coloração avermelhada, mas pode ser também acinzentada; e se desprende facilmente em grandes placas (Ferraz et al., 2003).

Carapa guianensis (andiroba) é uma árvore amazônica amplamente utilizada na medicina tradicional devido às suas propriedades farmacológicas, o que a torna uma fonte promissora de compostos bioativos. Sua importância reside em suas diversas aplicações terapêuticas, incluindo atividades antimicrobiana, anti-inflamatória, cicatrizante e antiparasitária. Sua integração à fitoterapia oferece alternativas naturais e eficazes para o tratamento de diversas doenças, destacando seu potencial como um recurso sustentável e promissor para o desenvolvimento de novos medicamentos (Costa Neto et al., 2024). O processamento de sementes de *Carapa guianensis* para obtenção de óleo em escala industrial gera uma quantidade significativa de resíduo, aproximadamente 66% m/m, definido como resíduo agroindustrial de andiroba, uma fonte potencial de biomoléculas. Dessa forma, a pesquisa demonstrou que mesmo após a obtenção do óleo de andiroba, o resíduo agroindustrial gerado ainda possui riqueza em fitoquímicos, biomassa que pode ser utilizada como alternativa na busca por bioprodutos (Santos et al., 2025).

Entre outras vantagens do uso dessa espécie como componente de SAFs, está o fato de se ter como um de seus produtos de valor econômico as sementes. Tal fato evitaria a necessidade de realização de cortes da planta para extração da madeira, que poderia danificar os demais componentes do SAF; além de que a exploração de sementes proporciona um retorno econômico bem mais rápido do que a exploração de madeira (Pereira Lunz et al., 2016). Estudo realizado por Klimas et al. (2012), explora a receita potencial associada a diferentes estratégias de colheita da árvore tropical multifuncional *Carapa guianensis*, uma espécie valorizada tanto pelo óleo de alta qualidade extraído de suas sementes quanto por sua madeira semelhante ao mogno. Os lucros combinados da extração de óleo de semente de *C. guianensis* por prensa e da extração de madeira foram economicamente competitivos com outras atividades florestais comuns que geram lucros em dinheiro para as comunidades. A combinação da extração de PFNMs com a extração de madeira pode gerar renda contínua, enquanto as florestas recuperam o volume entre as extrações de madeira.

Em relação à produção de frutos e sementes, há registros de grande variação na

densidade populacional e produção anual de sementes de andiroba ao longo de sua distribuição geográfica (Lourenço et al., 2017). Resultados obtidos por Gomes (2010) que ao estudar a produção de andirobeiras em várzea e terra firme no sul do Amapá, destacou uma tendência a maiores índices de produtividade em várzea (0,2 kg a 12,5 kg de sementes/planta) do que em terra firme (0,05 kg a 4,9 kg de sementes/planta). *C. guianensis* é uma espécie de mastig, o que significa que tem uma produção síncrona intermitente de grandes safras de sementes. As principais causas suspeitas da variação na produção de sementes são a aquisição e alocação de recursos, enquanto algumas árvores podem usar mastig como um mecanismo de defesa contra predadores (Valencia et al., 2019).

Devido ao amplo uso de suas propriedades terapêuticas e medicinais, o óleo das sementes é reconhecido nacionalmente e internacionalmente. No entanto, apresenta algumas lacunas, referente à qualidade do produto. Na região Amazônica, necessitam de melhorias e otimização do processo de fabricação e disponibilização do produto no mercado, ou seja, Boas Práticas Tecnológicas (BPT) (Santos et al., 2020). O preço do litro de óleo de andiroba varia conforme as cidades como por exemplo em Altamira, PA (R\$ 50,00 a R\$ 80,00), em Belém/PA, nas feiras do Ver-o-Peso, e da 25 de setembro (R\$ 30,00), em Breves/PA (R\$ 40,00) e em Santana/PA (R\$ 97,00) (IMAZOM 2017 apud Sousa et al., 2019). Uma maneira de tornar o óleo de andiroba mais rentável seria qualificar a mão de obra para conhecer outras formas de extração, além da tradicional (Sousa et al., 2019).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Área do Estudo

O estudo foi desenvolvido na Terra Indígena (TI) Andirá-Marau, Barreirinha, Amazonas (Figuras 1, 2 e 3).

A área de produção corresponde primeiramente ao território legalmente reconhecido como espaço tradicionalmente ocupado pela etnia Sateré-Mawé, em que o Povo Sateré-Mawé organiza seu convívio e gerenciam seu habitat, baseado em sua organização social, costumes, línguas, crenças e tradições.

Esse território foi demarcado em 1982 e homologado em 1986, e constitui, conforme o Art. 231 da Constituição Federativa do Brasil, a "Terra Indígena Andirá-Marau", patrimônio da União. A TI Andirá-Marau corresponde a uma superfície territorial de 788.528,38 hectares, na divisa entre os Estados do Amazonas, a oeste, descendo do Norte para o sul, pelos municípios de Parintins, Barreirinha e Maués; e a Leste, no Estado do Pará, pelos municípios de Aveiro e Itaituba. À Terra Indígena demarcada são acrescentados os seguintes territórios: a) o domínio da área denominada de "Vinte Quilos", de propriedade do CGTSM, ou seja, propriedade coletiva do Povo Sateré-Mawé, e o território intermédio que une Vinte Quilos com a TI homologada, situado na margem direita do rio Andirá; b) uma área limítrofe à TI homologada, abrangendo imediações das margens direita (ao norte) e predominantemente esquerda (ao sul) do rio Marau, constituída prevalentemente por áreas de posse indígena que não foram incluídas na demarcação de 1982 (INPI, 2020).

Foram avaliados três SAFs, localizados nas Comunidades Vinte Quilos, Nova União e Guaranatuba. Esses locais apresentam fitofisionomia de Floresta Ombrófila Densa do Bioma Amazônia (ISA, 2022). Inicialmente foi realizada uma pesquisa documental, por meio dos Relatórios Técnicos dos projetos desenvolvidos nas Comunidades, com a implantação dos SAFs e o inventário recente da área. De acordo com esses dados, os SAFs foram implantados em quintais estabelecidos e capoeiras; além das Andirobas, os SAFs apresentam as seguintes espécies arbóreas frutíferas e florestais, SAFs (1): Açaí (*Euterpe oleracea*), Pau-rosa (*Aniba rosaeodora*), Acerola (*Malpighia emarginata*), Manga (*Mangifera indica*); SAFs (2): Pau-pombo (*Tapirira guianensis*), Embaúba (*Cecropia* sp.), Bacaba (*Oenocarpus bacaba*), Seringueira (*Hevea brasiliensis*); SAFs (3): Açaí (*Euterpe oleracea*), Manga (*Mangifera indica*) Laranja

(*Citrus x sinensis*), Goiaba (*Psidium guajava*), Banana (*Musa x paradisiaca*) Coco (*Cocos nucifera*), Cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*).

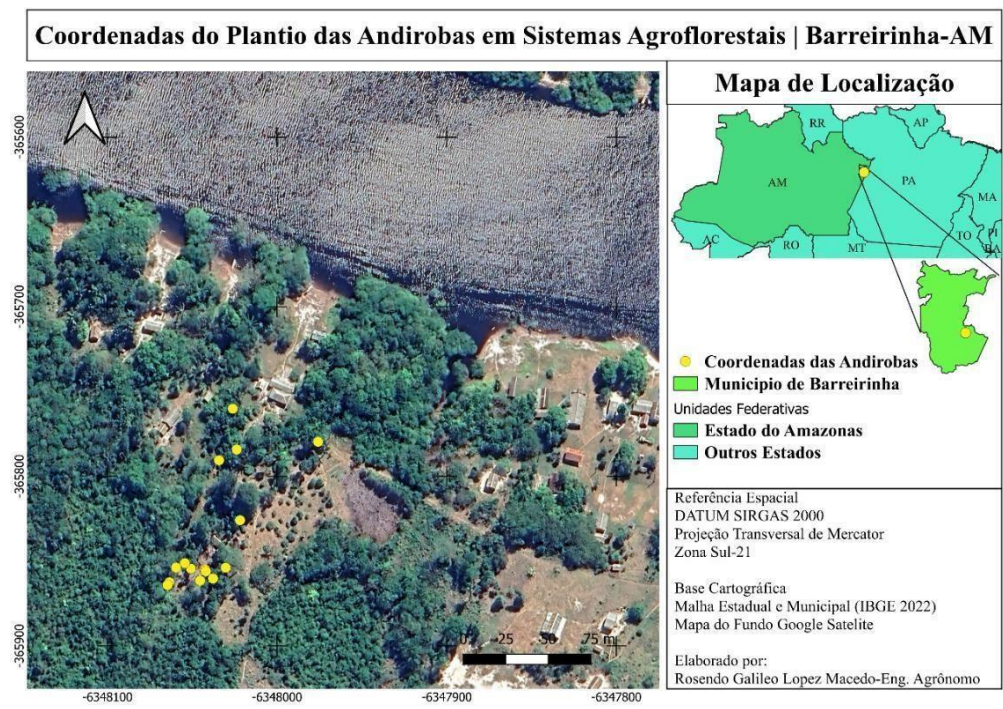


Figura 1. Localização do Sistema Agroflorestal 1 (Comunidade Nova União), nas Terras Indígenas Sateré-Mawé, município de Barreirinha, AM. **Fonte:** Rosendo Galileo Lopez Macedo (2024).

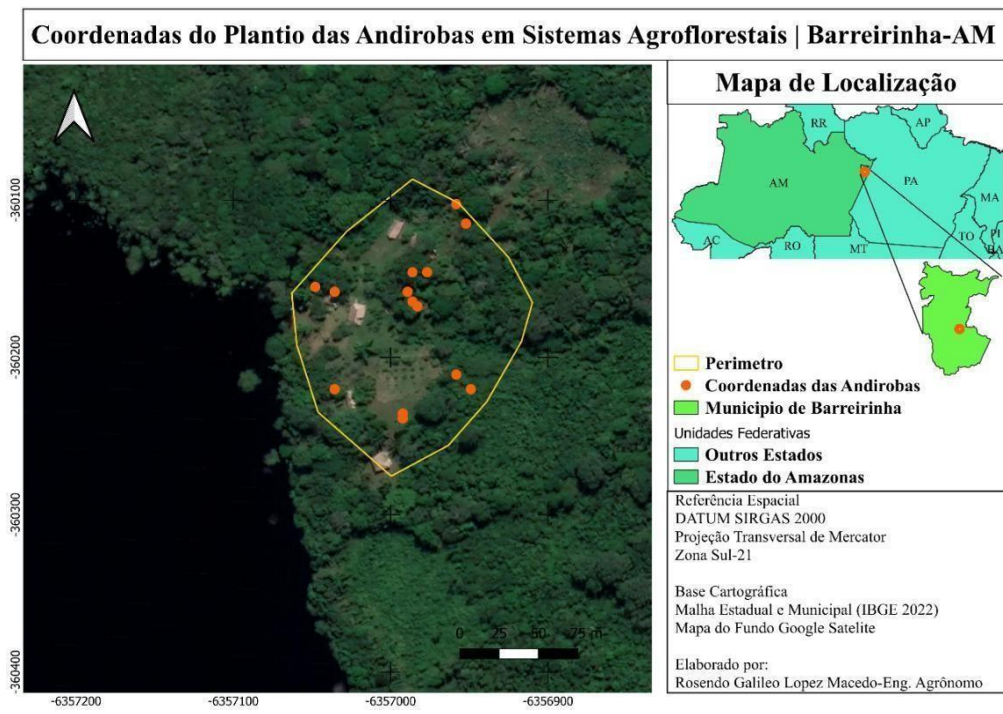


Figura 2. Localização do Sistema Agroflorestal 2 (Comunidade Vinte Quilos), nas Terras Indígenas Sateré-Mawé, município de Barreirinha, AM. **Fonte:** Rosendo Galileo Lopez Macedo (2024).

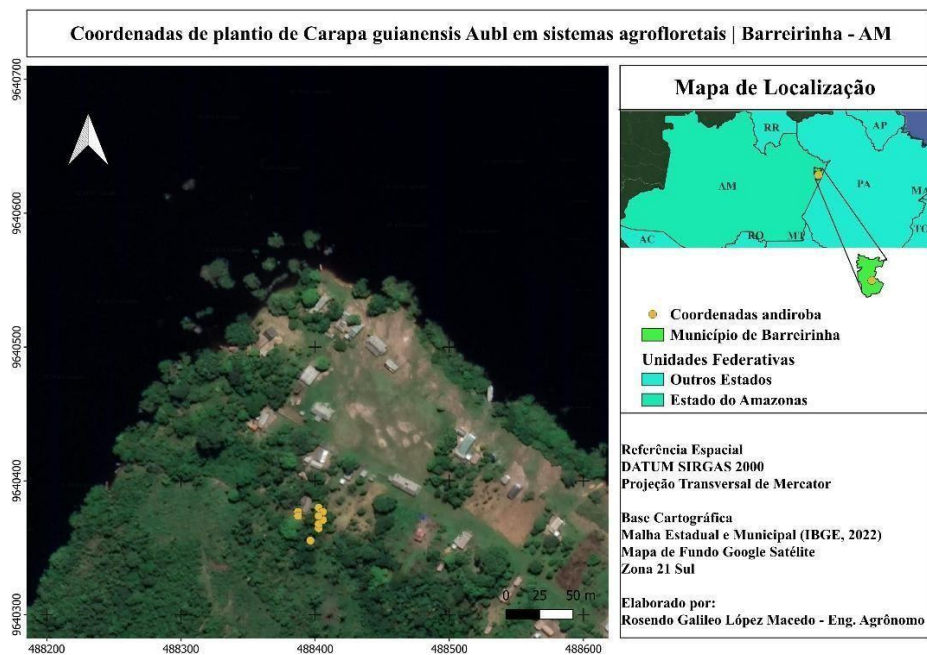


Figura 3. Localização do Sistema Agroflorestal 3 (Comunidade Guaranatuba), nas Terras Indígenas Sateré-Mawé, município de Barreirinha, AM. **Fonte:** Rosendo Galileo Lopez Macedo (2024).

4.2. Características de crescimento das andirobas

Em cada SAF foi mensurado apenas os indivíduos com 10 anos de idade. No SAF-1 (Comunidade Nova União) foram mensurados 10 indivíduos, no SAF-2 (Comunidade Vinte Quilos) 10 indivíduos, SAF-3 (Comunidade Guaranatuba) 10 indivíduos.

As árvores foram georreferenciadas de acordo com o Sistema de Posicionamento Global (GPS). Para a análise da distribuição espacial das andirobas, foi feito utilizando o programa de geoprocessamento (QGIS versão 3.28).

Foram coletados os seguintes dados dendrométricos: estimativa de altura total (m), com o auxílio de uma vara de 3 m de altura na base da árvore; da altura comercial ou primeira bifurcação (m), a medição foi feita com uma trena; circunferência à altura do peito – CAP (cm) e transformando em DAP (diâmetro à altura do peito em cm), também foi feita a medição da copa (coordenadas X – Y em cm) com trena.

4.3. Caracterização do solo dos diferentes SAFs

Para estudar a relação entre os atributos químicos do solo e o desenvolvimento

das Andirobas (*Carapa guianensis*), implantadas em sistemas agroflorestais (SAFs) no ano 2014; em cada SAFs foram selecionadas cinco árvores, com base à idade (10 anos) e serem árvores produtivas; os solos foram amostrados em abril do ano 2023. E foram utilizados resultados de análises de 90 amostras de solo.

A) Amostragem

A amostragem do solo foi realizada na profundidade de 0 - 10 a 10 - 20 cm, em quatro pontos a diferentes distâncias da copa das árvores de andiroba (15 árvores em total), para tirar as amostras de solo foi utilizada uma trado Holandês; considerando o raio (R) da projeção da copa. Os pontos de amostragem foram estabelecidos nas distâncias de: 0,5R (1,5m), 1,0R (3m, projeção da copa), e 2,0R, (3m, além da projeção da copa) (Figura 4). As quatro amostras de cada ponto, da mesma projeção, foram juntadas para formar uma única amostra composta. Cada planta amostrada, teve um total de três amostras composta na distância, a partir do tronco de 0,5R. 1,0R e 2,0R, que foram detalhadamente etiquetadas e levadas para o laboratório temático de Solo e Planta do INPA.

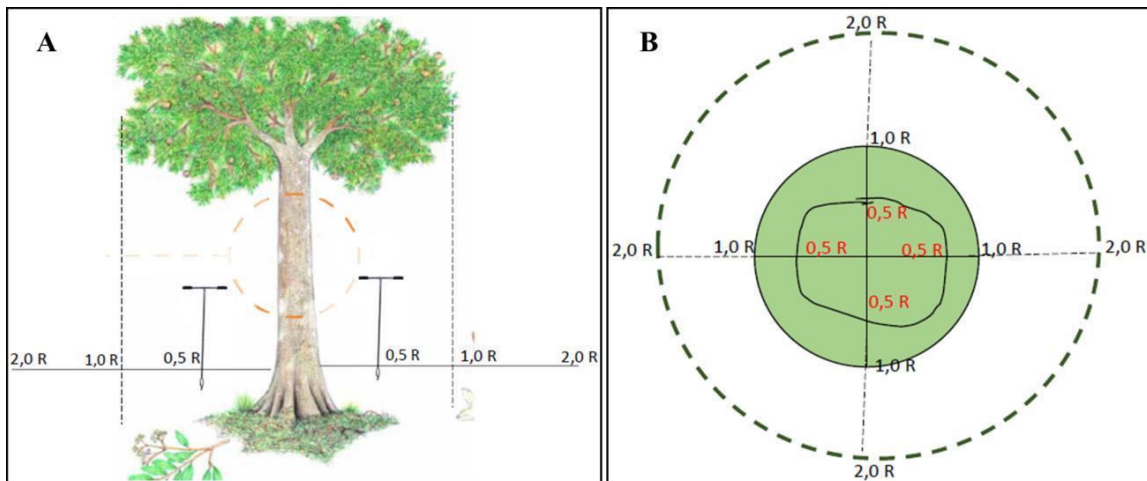


Figura 4. Posição da amostragem do solo. A – Vista frontal. B – Vista transversal. **Fonte:** Freitas et al. (2020).

B) Parâmetros de análises das amostras de solo

As amostras de solos foram secas ao ar em casa de vegetação do Inpa e peneiradas em malha de 2,0 mm para obtenção de Terra Fina Seca ao Ar (TFSA), as quais foram submetidas à análise química. Foram determinados os seguintes parâmetros: pH em água (1:2,5 v/v) Ca, Mg e Al trocáveis por extração de KCl 1 mol·L⁻¹, P e K disponível por

extrator Mehlich-1, N total pelo método de Kjeldahl, C orgânico total (Yeomans e Bremner, 1988), Fe, Zn, Cu e Mn disponível através da extração por Mehlich-1, conforme método da EMBRAPA (1999).

As caracterizações químicas das amostras de solo foram realizadas pelos seguintes métodos:

- a) pH em água – determinado em potenciômetro com eletrodo de vidro, empregando-se a relação solo: (V:V) 1:2,5.
- b) Matéria orgânica (M.O) = C (Carbono orgânico) x 1,724 – Walkley – Black.
- c) P e K disponível – Extrator duplo ácido (HCl 0,05mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,0125 mol. L⁻¹) Mehlich 1, sendo o P determinado por fotolorimetria e o K espectrometria de absorção atômica - AAS.
- d) Ca, Mg e Al trocável – Extraído com KCl 1,0 mol L⁻¹ (1:5), sendo o Ca e Mg determinado por espectrofotometria de absorção atômica e o Al por titulometria com uma solução de. Na OH 0,25 mol L⁻¹, usando o azul de bromotimol como indicador.
- e) Fe, Zn, Cu e Mn disponível através da extração por Mehlich – 1.

Depois de tabulados os valores dos atributos químicos dos solos, foram classificados de acordo com a faixa de interpretação: Muito baixo, Baixo, Médio, Alto e Muito alto (Tabela 1).

Tabela 1. Classificação de fertilidade do solo comum da Amazônia, na camada de 0-20 cm de profundidade.

ELEMENTOS	NÍVEIS				
	Muito Baixo	Baixo	Médio/ Satisfatório	Alto	Muito Alto
pH (água) ^{1,2}	< 4,5	4,5 – 5,4	5,5 – 6,0	6,1 – 7,0	> 7,0
M.O. (g.Kg ⁻¹) ^{1,2}		<15	15-45	>45	
P (mg dm ⁻³) ^{1,2}	<2,8	2,8 -5,4	5,5 -8,0	8,1 – 12,0	> 12,0
K (cmol _c dm ⁻³) ^{1,2}	<0,04	0,04 - 0,10	0,11- 0,18	0,19 -0,31	> 0,31
Al c(mol _c dm ⁻³) ^{1,2}	<0,20	0,21 - 0,50	0,51-1,00	1,01 – 2,00	> 2,00
Ca (cmol _c dm ⁻³) ^{1,2}	< 0,41	0,41- 1,16	1,17 – 2,32	2,33 – 4,06	> 4,06
Mg (cmol _c dm ⁻³) ^{1,2}	< 0,16	0,16 -0,45	0,46- 0,90	0,91- 1,50	> 1,50
Fe (mg kg ⁻¹) ²	-	<10	10-80	>80	-
Zn (mg kg ⁻¹) ²	-	<1,5	>1,5	-	-
Mn (mg kg ⁻¹) ²	-	<8,0	8-35	>35	-

¹Moreira e Fageria (2009); ²Cochrane et al. (1985).

4.4. Análise dos dados

As análises estatísticas foram realizadas no software R (R Core Team, 2019), com diferentes abordagens conforme a natureza das variáveis:

A) Variáveis morfológicas das árvores

Para as variáveis de crescimento das árvores (DAP, CAP, alturas, diâmetro de copa), aplicou-se ANOVA para comparação entre as três Áreas. Quando necessário, o teste de Tukey foi utilizado para identificar diferenças entre pares de médias. Em seguida, foi realizada uma análise de correlação de Pearson entre os incrementos médios anuais (em altura total e DAP) e os atributos morfológicos das árvores, visando identificar quais características estruturais mais se associam ao crescimento ao longo dos 10 anos.

B) Atributos químicos do solo

Inicialmente, foi verificado o comportamento dos dados quanto à normalidade (Teste de Shapiro-Wilk) e à homogeneidade das variâncias (Teste de Levene). Para variáveis que atenderam aos pressupostos, foi realizada ANOVA de um fator (Área), seguida de teste de comparações múltiplas de Tukey (nível de significância de 5%). Para dados que não apresentaram distribuição normal ou variâncias homogêneas, utilizou-se o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis. Adicionalmente, foi aplicada uma Análise de Componentes Principais (PCA) sobre os atributos químicos do solo, a partir das médias por árvore em cada profundidade (0–10 e 10–20 cm), com os dados previamente padronizados (z-score). O objetivo foi identificar os eixos de variação conjunta entre os atributos e caracterizar diferenças multivariadas entre as Áreas.

4.5. Características dos frutos e sementes

Para essa característica, no período de frutificação das andirobas, mês de março, foram coletados frutos no chão, antes da abertura, quando foi observado o início da dispersão. Foram analisados de forma aleatória 50 frutos, 10 frutos do SAF 1 - Nova União, 10 do SAF 2 - Vinte Quilos, 10 do SAF 3 – Guaranatuba e, 20 frutos provenientes da coleta na floresta próximo a Comunidade Praia Dourada. Os frutos provenientes da floresta, foram coletados em dois pontos, em torno de 10 km de distância. Então os frutos foram divididos em, 10 frutos da Floresta 1 e 10 da Floresta 2. Portanto foram analisados 50 frutos de cinco procedências.

Os frutos foram colocados em sacos plásticos, devidamente etiquetados com as informações do ambiente de coleta e, transportados de barco para Manaus. As medições dos frutos e sementes e a avaliação da qualidade das amêndoas foram feitos no Laboratório de Sementes do Centro de Sementes Nativas do Amazonas da Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Amazonas (CSNAM/FCA/UFAM).

Inicialmente, 10 frutos de cada procedência foram pesados em balança analítica de precisão 0,01 g, e tomadas as medidas de comprimento (da cicatriz do pedúnculo ao ápice do fruto) e diâmetro (porção mediana), utilizando um paquímetro digita de precisão 0,01 mm. Após, as sementes foram extraídas dos frutos de cada procedência, de forma manual e colocada em bandejas plásticas.

Dos lotes formados, foram retiradas de forma aleatória 30 sementes, divididas em cinco repetições de seis sementes (5x6). Em que foram tomadas as medidas de comprimento, largura e espessura, em mm e massa fresca em g, utilizando as mesmas ferramentas e equipamentos para a mensuração dos frutos.

Os dados biométricos de frutos e sementes foram inseridos em planilha do Excel para análise estatística descritiva (média, desvio padrão e amplitude de variação). Como comparação das médias, os dados foram submetidos aos testes de normalidade (Teste de Shapiro-Wilk), homogeneidade da variância (Teste de Levene) e independência das amostras (Anova). Como os dados se apresentaram normais foi aplicado o teste de Tukey a 5% de probabilidade. Para os frutos foram utilizadas 10 repetições por tratamento (procedência) e, para as sementes foram utilizadas cinco repetições de seis sementes por tratamento.

A qualidade das amêndoas foi avaliada por meio da captura de imagens no

equipamento de Raio-X (XPRT 80). Por meio das imagens foi possível avaliar a predação por insetos, ataque de patógenos e a maturidade (massa cotiledonar: preenchendo completamente o interior do envoltório, pouca massa cotiledonar e sementes vazias). Para essa avaliação, as 30 sementes mensuradas de cada procedência, foram divididas em cinco repetições de seis sementes.

Os dados da qualidade das amêndoas, não apresentaram distribuição normal, mesmo após transformações dos dados. Então, os dados foram submetidos a análise estatística não paramétrica por meio do teste de Kruskal-Wallis.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Crescimento de andirobas com 10 anos de idade implantadas em SAFs

A Figura 5 apresenta a comparação das principais variáveis morfológicas das andirobas (*Carapa guianensis*) aos 10 anos de idade, nos três Sistemas Agroflorestais (SAFs 1, 2 e 3). Foram avaliadas a circunferência à altura do peito (CAP), diâmetro à altura do peito (DAP), altura do fuste, altura da copa, altura total e diâmetro da copa. Os testes de ANOVA indicaram diferenças significativas entre os SAFs para CAP, DAP e altura total ($p < 0,01$), enquanto as demais variáveis não apresentaram diferenças estatisticamente significativas ($p > 0,05$).

A média de CAP e DAP foi significativamente menor no SAF 2, enquanto SAF 1 e SAF 3 apresentaram valores superiores e estatisticamente semelhantes. A altura total foi significativamente maior no SAF 3 ($\approx 16,5$ m), seguida do SAF 1 ($\approx 13,4$ m) e SAF 2 ($\approx 12,2$ m). Embora a altura do fuste e da copa tenham sido numericamente maiores no SAF 3, essas diferenças não atingiram significância estatística ($p \approx 0,12$). Já o diâmetro da copa não diferiu entre os SAFs ($p = 0,36$), indicando maior uniformidade entre os SAFs para essa variável.

Esses resultados sugerem que as andirobas cultivadas no SAF 3 apresentam crescimento vertical mais acentuado. Esse crescimento pode ser explicado pelo fato de que as andirobeiras foram plantadas muito perto umas de outras. O arranjo do SAF foi feito pelo próprio agricultor, onde foi observado andirobeiras plantadas a uma distância mínima, em alguns casos, 1,0 m de distância. Além disso, a classe textural do solo franco argilo-arenoso, ajuda muito com uma boa drenagem e conteúdo de nutrientes essenciais disponíveis para um bom desenvolvimento das plantas. O SAF 3 tem características muito particulares, a composição consiste em espécies frutíferas (açaí - *Euterpe oleracea*; manga - *Mangifera indica*, laranja - *Citrus x sinensis*, goiaba - *Psidium guajava*, banana - *Musa* sp., coco - *Cocos nucifera*, cupuaçu - *Theobroma grandiflorum*); plantas comestíveis (olerícolas diversas); e plantas medicinais (herbáceas diversas) e; a espécie florestal andiroba (*Carapa guianensis*). Conforme relato do produtor, esse SAF é manejado com adubação orgânica e reposição das plantas quando necessário.

O SAF 2 mostrou menor desempenho geral, tanto em diâmetro quanto em altura. O crescimento menor das andirobeiras, neste sistema, pode estar relacionado com as condições físicas do solo, que apresentou característica de textura de solo argiloso, o que

lhe confere certas características como retenção de água, propenso à compactação, igualmente a disponibilidade dos nutrientes para as plantas. Interessante relatar que o SAF 2 foi implantado com apoio do Projeto Waraná, por esse motivo, na primeira etapa de implantação, as andirobeiras foram plantadas seguindo as orientações técnicas respeitando o arranjo de instalação com o distanciamento adequado entre plantas, no caso 4,0 m. O SAF 2 apresenta uma composição diversificada de espécies florestais, como andiroba (*Carapa guianensis*) pau-pombo (*Tapirira guianensis*), embaúba (*Cecropia* sp.), bacaba (*Oenocarpus bacaba*), seringueira (*Hevea brasiliensis*) pau-rosa (*Aniba rosaeodora*); No entanto, foi observado nesse SAF, que a área não é manejada há uns cinco anos.

No SAF 1, as andirobeiras apresentaram valores de crescimento maiores nas variáveis de CAP e DAP além da altura (h) total, muito similares ao SAF 3. Isso pode ser atribuído pelas características físicas do solo, no qual a classe textural é franco argilo-arenoso. Esse tipo de solo apresenta uma mistura equilibrada de areia, silte e argila, resultando em uma combinação de boa drenagem e retenção de água e nutrientes essenciais para o crescimento das plantas, características estas, favoráveis para o cultivo. O arranjo desse SAF, também foi realizado sob orientação técnica, respeitando o distanciamento recomendado de 4,0 m. A composição do SAF 1 é formada por espécies frutíferas e florestais, como açaí (*Euterpe oleracea*), pau-rosa (*Aniba rosaeodora*), acerola (*Malpighia emarginata*), manga (*Mangifera indica*) e andiroba (*Carapa guianensis*).

Por meio dos resultados das características dos indivíduos de *C. guianensis* com 10 anos de idade, nos diferentes ambientes, fica claro que as condições edáficas, manejo e competição intraespecífica, em cada SAF, influenciam no incremento anual de desenvolvimento das plantas. De acordo com Baloneque et al. (2022), os estudos de morfometria de árvores buscam transmitir uma ideia das relações interdimensionais, reconstituir o espaço ocupado pelas árvores, julgar o grau de concorrência do povoamento, além de inferências sobre estabilidade, vitalidade e produtividade de cada indivíduo. Portanto, necessário para se conhecer o comportamento dos indivíduos em Sistemas Agroflorestais.

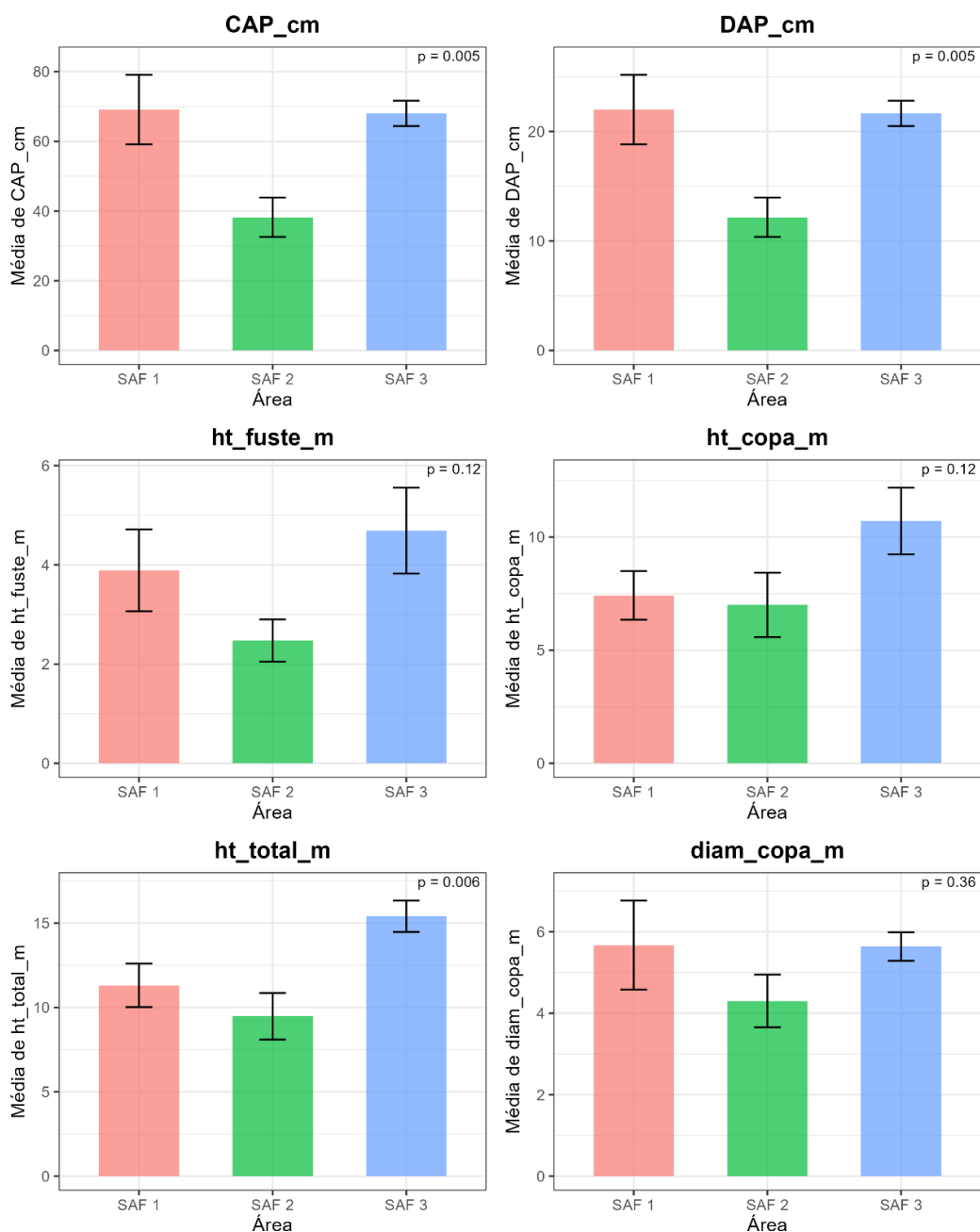


Figura 5. Comparação das médias dos parâmetros dendrométricos de *Carapa guianensis* (andiroba) em três Sistemas Agroflorestais (SAFs 1, 2 e 3): circunferência à altura do peito (CAP), diâmetro à altura do peito (DAP), altura do fuste, altura de copa, altura total e diâmetro de copa. As barras indicam o erro-padrão da média (EP). Valores de p indicam o resultado da análise de variância (ANOVA) para cada variável, considerando diferenças entre os SAFs.

As Figuras 6 e 7 mostram as correlações entre o incremento médio anual em altura total (inc_ht_total) e incremento médio em DAP (inc_DAP) com variáveis morfométricas das árvores.

Para o incremento em altura total (Figura 7), observou-se correlações significativas com CAP ($r = 0,63$), DAP ($r = 0,63$), altura da copa ($r = 0,85$), altura total ($r = 1,00$) e diâmetro da copa ($r = 0,43$), todas com $p < 0,05$. A correlação com altura do

fuste foi positiva ($r = 0,30$), mas não significativa ($p = 0,11$). A mais forte associação foi com a própria altura total ($r = 1$), como esperado, dado que inc_ht_total é derivado diretamente dessa variável.

No incremento em DAP (Figura 6), as correlações mais fortes foram com CAP e DAP absolutos ($r = 1,00$; $p < 0,001$), refletindo consistência entre medidas. Altura total ($r = 0,63$), diâmetro da copa ($r = 0,72$), altura da copa ($r = 0,43$) e altura do fuste ($r = 0,39$), todas com $p < 0,05$.

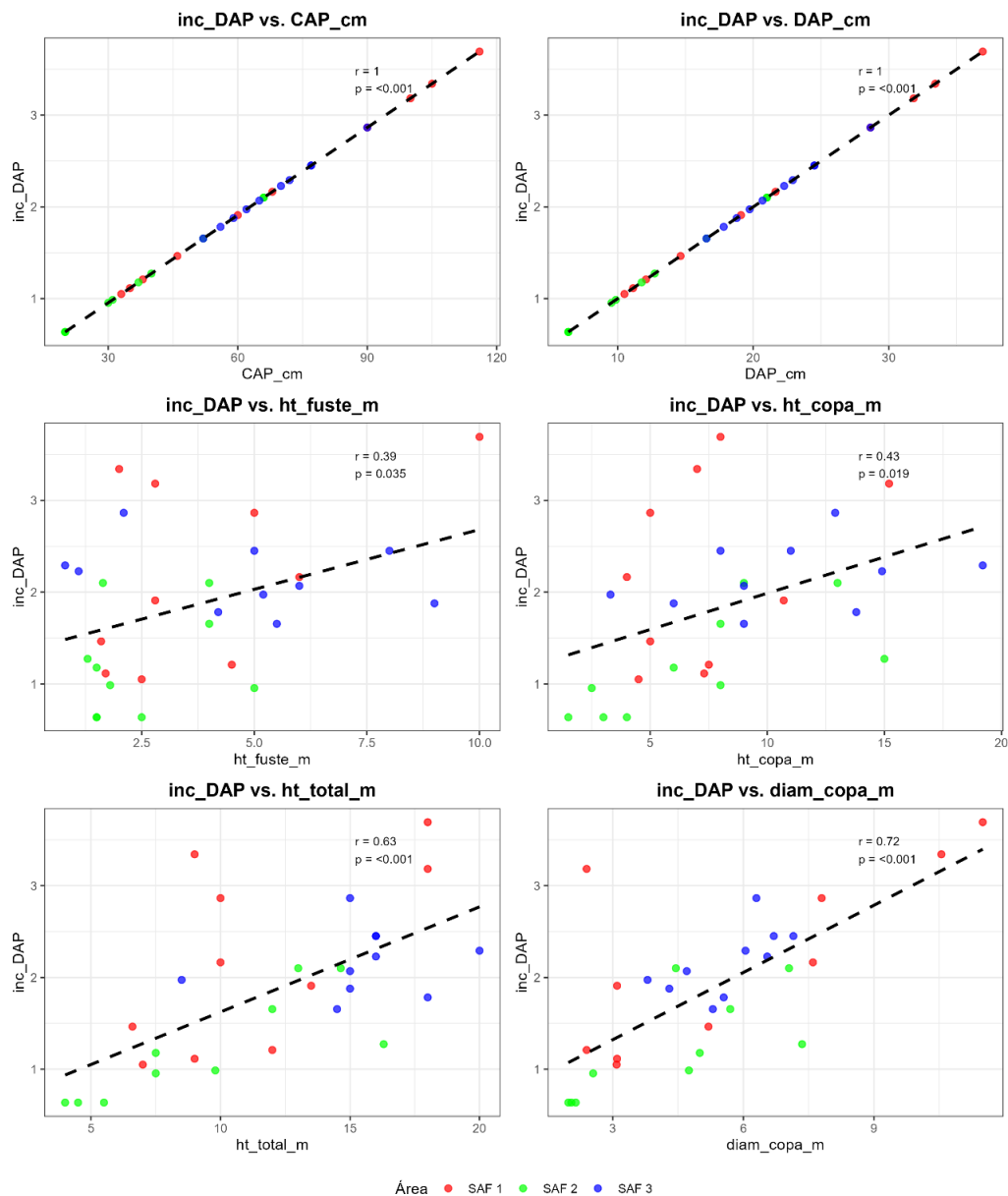


Figura 6. Correlação entre o incremento médio anual em diâmetro à altura do peito (DAP; cm/ano) e variáveis dendrométricas: circunferência à altura do peito (CAP; cm), diâmetro à altura do peito (DAP; cm), altura do fuste (m), altura da copa (m), altura total (m) e diâmetro da copa (m). Cada ponto representa uma árvore individual, colorida de acordo com a área de estudo: SAF 1 (vermelho), SAF 2 (verde) e SAF 3 (azul). As linhas tracejadas representam os ajustes lineares simples, acompanhados dos coeficientes de correlação de Pearson (r) e valores de significância (p).

Os resultados dos DAP das andirobas do SAF 3 são similares com os estudos de variáveis morfométricas feitas por Baloneque et al. (2022), onde indica os valores médios de DAP (0,25 m) para andiroba. Condé et al. (2013), encontraram valores de DAP de 0,2 m em plantios de 16,5 anos. Tonini et al. (2005) indicaram valores de DAP de 0,01 m e altura de 9,2 m e ainda Tonini et al. (2006) que mostraram DAP de 0,01 m e altura total de 9,06 m, ambos em plantios aos 7 anos de idade. Salton et al. (2015) comentam que as diferentes características morfométricas em indivíduos da mesma idade em povoamentos diferentes, pode ser reflexo da forma de condução dos povoamentos, uma vez que sistemas que visam integração de diferentes componentes, refletem em ganhos nutricionais por meio de maior acúmulo de matéria orgânica e disponibilidade de nutrientes. Lima (1999) constatou ótimo desempenho da andirobeira plantada no início de sistema de policultivo (SAF) isto é, como uma espécie pioneira, após cinco anos de idade as andirobeiras alcançaram 6,33 m de altura e 9,18 cm de DAP. Valores semelhantes ao incremento médio anual dos SAFs 1 e 3 objetos de nosso estudo.

Já nos estudos feitos com andiroba em três sistemas agroflorestais por Sousa et al. (2009), indicam o incremento médio anual de altura (m) no sítio 1-0,53; no sítio 2-0,61 e sítio 3-0,72 e o incremento médio anual do DAP (cm) no sítio 1-0,38; no sítio 2-0,37 e sítio 3-0,55. Valores muito menores comparativamente com o incremento médio anual das andirobeiras dos SAFs 1, 2 e 3 objetos de nossos estudos.

Segundo Baloneque (2022) a andiroba mostrou ser uma espécie com desenvolvimento adequado, mesmo quando inserida em esquemas produtivos de alta densidade, com características que atingem resultados produtivos elevados como área e volume de copa. Esta observação é interessante para explicar os resultados dos SAFs 1 e 3 deste estudo. No SAF 3, as andirobas foram plantadas em alta densidade e apresentam maior porte geral (CAP, DAP, altura de fuste, altura de copa, altura total e diâmetro de copa).

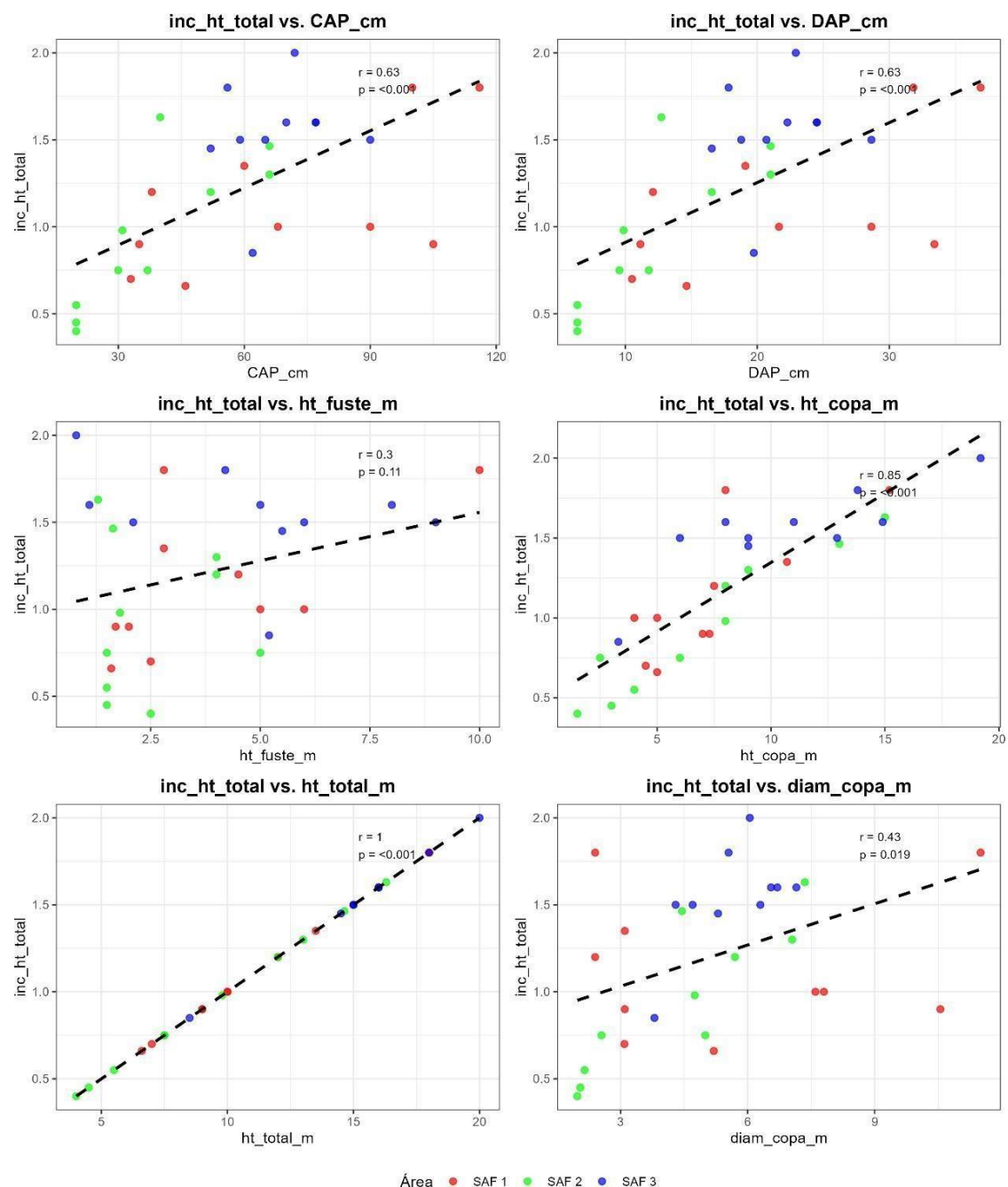


Figura 7. Correlação entre o incremento médio anual em altura total (m/ano) e variáveis dendrométricas: circunferência à altura do peito (CAP; cm), diâmetro à altura do peito (DAP; cm), altura do fuste (m), altura da copa (m), altura total (m) e diâmetro da copa (m). Cada ponto representa uma árvore individual, colorida de acordo com a área de estudo: SAF 1 (vermelho), SAF 2 (verde) e SAF 3 (azul). As linhas tracejadas representam os ajustes lineares simples, acompanhados dos coeficientes de correlação de Pearson (r) e valores de significância (p).

Além de confirmar tendências descritas por Condé et al. (2013), Tonini et al. (2005, 2006) e Baloneque et al. (2022), os resultados obtidos indicam que o desempenho da andiroba em plantios está fortemente condicionado a fatores locais de manejo e

qualidade do sítio. O SAF 3, por exemplo, apresentou maiores incrementos em altura e valores expressivos de DAP, o que pode estar associado ao maior teor de matéria orgânica, carbono e nutrientes básicos no solo, aliados a uma possível menor competição intraespecífica ou manejo mais favorável. Estudos como o de Lima (1999) e Salton et al. (2015) também apontam que condições edáficas mais ricas e a integração de espécies em sistemas agroflorestais podem favorecer o acúmulo de biomassa e acelerar o crescimento diamétrico.

A semelhança de incremento em DAP entre o SAF 1 e o SAF 3, apesar da menor fertilidade no primeiro, sugere que variáveis como densidade de plantio, arquitetura de copa e interceptação luminosa desempenham papel relevante, corroborando as observações de Baloneque (2022) de que a espécie mantém desempenho satisfatório mesmo em sistemas de alta densidade, desde que não haja competição excessiva por luz e recursos. Já o menor crescimento observado no SAF 2, mesmo com fertilidade intermediária, pode refletir maior sombreamento, espaçamento inadequado ou menor aporte de resíduos orgânicos ao solo.

Em termos de manejo, os resultados reforçam o potencial da andiroba como espécie-chave em sistemas agroflorestais, sobretudo quando combinada com práticas que otimizem a fertilidade do solo e o manejo da competição. Tais achados dialogam com o que foi relatado por Sousa et al. (2009), que observaram ganhos modestos em sistemas sem adubações ou enriquecimento do solo, evidenciando que o manejo adequado é determinante para maximizar o crescimento.

5.2. Características dos solos dos diferentes SAFs

Para cada atributo químico do solo (pH, carbono total (C), matéria orgânica (MO), fósforo disponível (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al), ferro (Fe), zinco (Zn), manganês (Mn) e cobre (Cu)), calculou-se a média por árvore em cada profundidade (agregando as três amostras de solo por profundidade). Em seguida, aplicou-se ANOVA dois-fatores (SAF × Profundidade) com estrutura de medidas repetidas em cada árvore via (ID_arvore/Profundidade).

Observa-se na Tabela 2 que para o efeito do SAF, todos os atributos testados apresentaram efeito significativo ($p < 0.05$), indicando diferenças consistentes na fertilidade média entre os três SAFs estudados. Isso reforça que cada SAF possui

características químicas de solo distintas.

Tabela 2. Atributos químicos do solo dos diferentes SAFs na calha do Rio Andirá. Resumo dos valores de F e p obtidos para os Efeitos do SAF, Profundidade e Interação.

Variável	Efeito SAF (F; p)	Efeito Profundidade (F; p)	Interação SAF×Profundidade (F; p)
pH	23.43; p < 0.001	1.54; p = 0.239	4.05; p = 0.045*
C	21.48; p = 0.000108	3.15; p = 0.101	0.17; p = 0.845
MO	33.54; p < 0.001	54.24; p < 0.001	6.50; p = 0.012*
P	28.47; p < 0.001	72.59; p < 0.001	20.32; p < 0.001***
K	890.7; p < 0.001	21.04; p = 0.000625	10.09; p = 0.0027**
Ca	51.68; p < 0.001	34.05; p = 0.0000802	16.46; p = 0.000364***
Mg	22.34; p < 0.001	3.27; p = 0.096	18.22; p = 0.000231***
Al	70.63; p < 0.001	6.82; p = 0.0228	0.087; p = 0.918
Fe	5.26; p = 0.0228	0.16; p = 0.695	0.15; p = 0.863
Zn	47.59; p < 0.001	10.34; p = 0.0074	8.46; p = 0.0051**
Mn	42.38; p < 0.001	36.65; p < 0.001	13.45; p = 0.000861***
Cu	162.8; p < 0.001	0.108; p = 0.748	0.027; p = 0.973

Em relação ao efeito de profundidade, foi observado atributos com efeito global significativo (diferença entre 0–10 cm e 10–20 cm) de forma consistente em todos os SAFs para matéria orgânica (MO), fósforo disponível (P), potássio (K), cálcio (Ca), alumínio (Al), zinco (Zn) e manganês (Mn). Nesses casos, observa-se geralmente maior concentração na camada superficial, como esperado. Para os atributos pH, carbono total (C), ferro (Fe), cobre (Cu), não foi observado efeito global de profundidade. O magnésio (Mg) teve tendência de variação, mas não alcançou $p < 0.05$ globalmente (Tabela 2).

Na interação SAF x Profundidade, houve significância para pH, MO, P, K, Ca, Mg, Zn e Mn. Isso mostra que o padrão de diferença entre as camadas varia conforme o SAF. Em alguns SAFs, a queda (ou variação) de um nutriente entre 0–10 e 10–20 cm é maior ou menor do que em outros. Embora globalmente o pH não apresente variação consistente entre profundidades, em pelo menos um SAF esse comportamento se diferencia. A interação para C, Al, Fe e Cu não foi significativa. Para Al, houve efeito global de profundidade, mas sem interação, indicando variação semelhante entre camadas em todas os SAFs; para C, Fe e Cu, não houve efeito de profundidade nem interação.

Ainda na Tabela 2, pode-se observar alguns achados específicos para cada parâmetro: o pH difere entre os SAFs ($F=23.43$; $p<0.001$), sem efeito global de profundidade, mas interação significativa ($F=4.05$; $p=0.045$), indicando que variação de pH entre 0–10 e 10–20 cm ocorre de forma distinta em cada SAF; a Matéria Orgânica

(MO) é maior na camada superficial (nível global de profundidade significativo, $F=54.24$; $p<0.001$) e difere entre os SAFs ($F=33.54$; $p<0.001$), com interação ($F=6.50$; $p=0.012$), apontando que a magnitude da queda de MO varia por SAF; no Fósforo (P) observa-se marcante queda de 0–10 para 10–20 cm ($F=72.59$; $p<0.001$) e diferença entre os SAFs ($F=28.47$; $p<0.001$), com interação forte ($F=20.32$; $p<0.001$); Potássio (K) e Cálcio (Ca), ambos com efeitos entre SAF e Profundidade significativos e interações significativas, mostrando perfis de decaimento distintos em cada SAF; já para o Magnésio (Mg), embora o efeito global de profundidade seja marginal ($p=0.096$), a interação significativa ($p=0.00023$) sugere que em alguns SAFs há variação relevante entre profundidades, enquanto em outras não; o Alumínio (Al), difere entre SAFs e apresenta menor valor em 10–20 cm de modo consistente em todos os SAFs (profundidade significativa, $p=0.0228$), sem interação; no Ferro (Fe) e Cobre (Cu) há diferenças médias entre SAFs, sem efeito de profundidade nem interação, indicando perfis relativamente uniformes verticalmente; Zinco (Zn) e Manganês (Mn), ambos com efeitos no SAF, Profundidade e interação significativos, indicativos de perfis diferenciados conforme SAF.

A análise post-hoc (Tukey HSD) identificou diferenças estatística significativas entre os três SAFs para diversos atributos químicos do solo (Tabela 2). De forma geral, o SAF 3 apresentou os maiores valores médios para a maioria das variáveis (pH, C, MO, Ca, Mg, Zn, Mn, Cu), com destaque para diferenças significativas em relação ao SAF 1 e, em vários casos, também no SAF 2. O SAF 2, frequentemente ocupou posição intermediária, mas superou o SAF 1 em Carbono (C), Matéria Orgânica (MO), Potássio (K), Fósforo (P), Alumínio (Al) e Ferro (Fe), além de apresentar valores de K superiores aos do SAF 3. Em contraste, o SAF 1 apresentou os menores valores médios para a maioria dos atributos.

Podemos observar em destaques por variável que, o pH foi maior no SAF 3 ($p < 0,01$) com tendência de diferença entre os SAFs 1 e 2 ($p \approx 0,06$). Para o Carbono total (C), nos SAFs 2 e 3 apresentaram maior quantidade que no SAF 1 ($p < 0,001$) e não houve diferença entre o SAF 2 e SAF 3. Em relação a Matéria Orgânica (MO), os SAFs 2 e 3 apresentaram maiores quantidades que o SAF 1 ($p < 0,001$) com tendência de o SAF 3 ser maior que o SAF 2 ($p \approx 0,08$). O Fósforo disponível (P) nos SAFs 2 e 3 foram maiores que no SAF 1 ($p < 0,001$), sendo que nos SAFs 2 e 3 foram semelhantes. Já o Potássio (K) as quantidades foram crescentes na seguinte ordem: SAF 2 > SAF 3 > SAF 1, com diferenças significativas entre todos os pares ($p < 0,05$). A quantidade de Cálcio (Ca) foi maior no SAF 3 ($p < 0,001$) e não significativo entre os SAFs 1 e 2. O Magnésio (Mg)

foi maior no SAF 3 ($p < 0,01$) com tendência entre os SAFs 2 e 1 ($p \approx 0,066$). Para o Alumínio (Al), as maiores quantidades foram encontradas nos SAFs 2 e 3 ($p < 0,001$), sendo semelhantes entre eles. Da mesma forma, para o Ferro (Fe) as maiores quantidades foram encontradas nos SAFs 2 e 3 ($p < 0,05$), sendo semelhantes entre eles. Em relação ao Zinco (Zn), apenas o SAF 3 foi maior que nos SAFs 1 e 2 ($p < 0,001$) e não diferem entre eles. Comportamento semelhante para o Manganês (Mn) em que, apenas o SAF 3 foi maior que nos SAFs 1 e 2 ($p < 0,001$), sendo semelhantes entre eles. Para o Cobre (Cu), o SAF 2 apresentou menor quantidade que o SAF 1, sendo que no SAF 3 foi maior que nos SAFs 1 e 2 ($p < 0,001$).

Esses resultados refletem diferenças significativas entre os sistemas avaliados, especialmente com o SAF 3 mostrando indicadores de maior fertilidade do solo, o que pode estar relacionado a práticas de manejo, tempo de implantação ou características edáficas. Recomenda-se a análise conjunta com as interações Área $\times$ Profundidade para orientar práticas agronômicas mais adequadas.

5.3. Correlações entre atributos químicos do solo por SAF

A Figura 8 apresenta a matriz de correlação entre os principais atributos químicos do solo (pH, C, MO, P, K, Ca, Mg, Al, Fe, Zn, Mn e Cu), analisados com base nas médias por árvore. As correlações são apresentadas separadamente por SAF (1, 2 e 3), permitindo examinar padrões específicos em cada Sistema Agroflorestal.

Observa-se uma correlação positiva muito forte entre carbono (C) e matéria orgânica (MO) em todas os SAFs ($r > 0,98$), refletindo a forte dependência entre essas variáveis. No SAF 3, também se destacam correlações elevadas entre C/MO e os cátions Ca e Mg ($r \approx 0,85-0,87$), indicando que solos com maior acúmulo de matéria orgânica tendem a ter maior disponibilidade desses nutrientes.

O pH apresenta correlações positivas relevantes com Ca e Mg no SAF 3 ($r > 0,86$), o que sugere que a elevação do pH acompanha o acúmulo de bases, típico de ambientes mais férteis. Ainda nesse SAF, os micronutrientes Zn e Cu, também se correlacionam fortemente com MO, Ca e Mg, indicando uma fertilidade mais integrada.

No SAF 2, embora haja maior teor médio de potássio (K), este elemento mostra correlações negativas com C, MO, Ca e Mg (ex.: $r = -0,68$ para K-C), sugerindo um comportamento distinto dos demais nutrientes, possivelmente associado à dinâmica de

retenção ou manejo específico da área. Já o SAF 1 apresenta correlações geralmente mais fracas ou inconsistentes, o que pode refletir menor variabilidade interna ou baixa fertilidade geral, com menor interdependência entre os atributos químicos.

Esses padrões reforçam que o SAF 3 se destaca não apenas por apresentar os maiores teores médios de nutrientes, mas também por exibir maior integração entre os atributos do solo, caracterizando um ambiente edáfico mais equilibrado e possivelmente mais favorável ao desenvolvimento das espécies cultivadas.

A Análise de Componentes Principais (PCA) (Figura 9) dos atributos químicos do solo foi aplicada às médias por árvore em duas profundidades (0–10 e 10–20 cm), considerando 12 atributos químicos do solo, previamente padronizados (z-score). Os dois primeiros componentes principais (PC1 e PC2) explicaram, conjuntamente, 82,2% da variância total (PC1: 53,4%; PC2: 28,8%), conforme indicado pelo scree plot.

PC1 agregou cargas positivas elevadas para Mn, Zn, Ca, MO, Mg, C e P, refletindo um gradiente de fertilidade geral do solo: amostras com scores altos em PC1 apresentam maiores teores de nutrientes e matéria orgânica. PC2 apresentou contraste entre potássio (K) (carga negativa) e pH e cobre (Cu) (cargas positivas), indicando um eixo interpretável como um gradiente de balanço K versus pH/Cu.

No biplot PC1 $\times$ PC2 (Figura 9), as amostras se agruparam distintamente por SAF: SAF 3 - cluster no quadrante direito (PC1 positivo), indicando solos mais férteis e com valores moderados a altos de pH e Cu; SAF 1 - posicionada com PC1 negativo e PC2 positivo, indicando solos com fertilidade geral mais baixa, mas pH e Cu relativamente mais altos que no SAF 2; SAF 2 - situada com scores negativos em ambos os componentes (PC1 e PC2), revelando solos com menor fertilidade geral, mas maior concentração relativa de K.

As elipses de confiança (68%) não se sobrepõem entre os SAFs, confirmando a separação multivariada dos SAFs. As variáveis que mais contribuíram para PC1 foram Mn, Zn, Ca, MO e Mg, enquanto PC2 foi dominado por K, Cu e pH.

A interpretação multivariada obtida pela PCA reforça os achados das análises univariadas (ANOVA e testes post-hoc), sintetizando a estrutura de variabilidade dos atributos edáficos entre os SAFs. Destaca-se que o SAF 3 possui solo com maior fertilidade integrada, enquanto o SAF 2 difere por maior teor de K e o SAF 1 exibe pH e Cu relativamente superiores, apesar da fertilidade geral mais baixa.

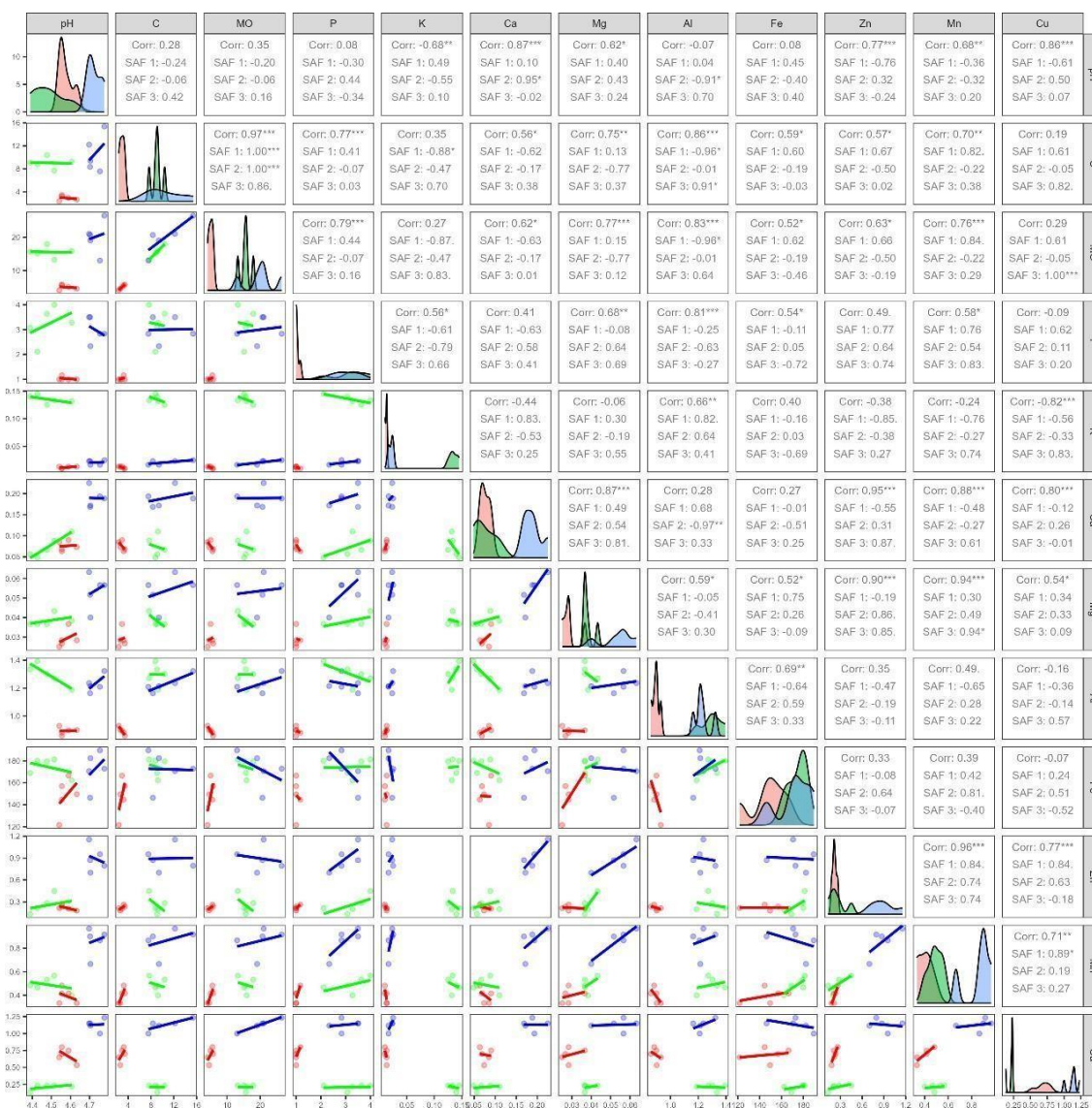


Figura 8. Matriz de dispersão, histogramas e coeficientes de correlação de Pearson para os atributos químicos do solo nas áreas SAF 1, SAF 2 e SAF 3. Na diagonal principal, estão representadas as distribuições de densidade para cada variável. Os painéis superiores mostram os coeficientes de correlação (Corr) globais e por área, com seus respectivos níveis de significância. Os painéis inferiores apresentam gráficos de dispersão coloridos por área, com linhas de regressão ajustadas (método linear).

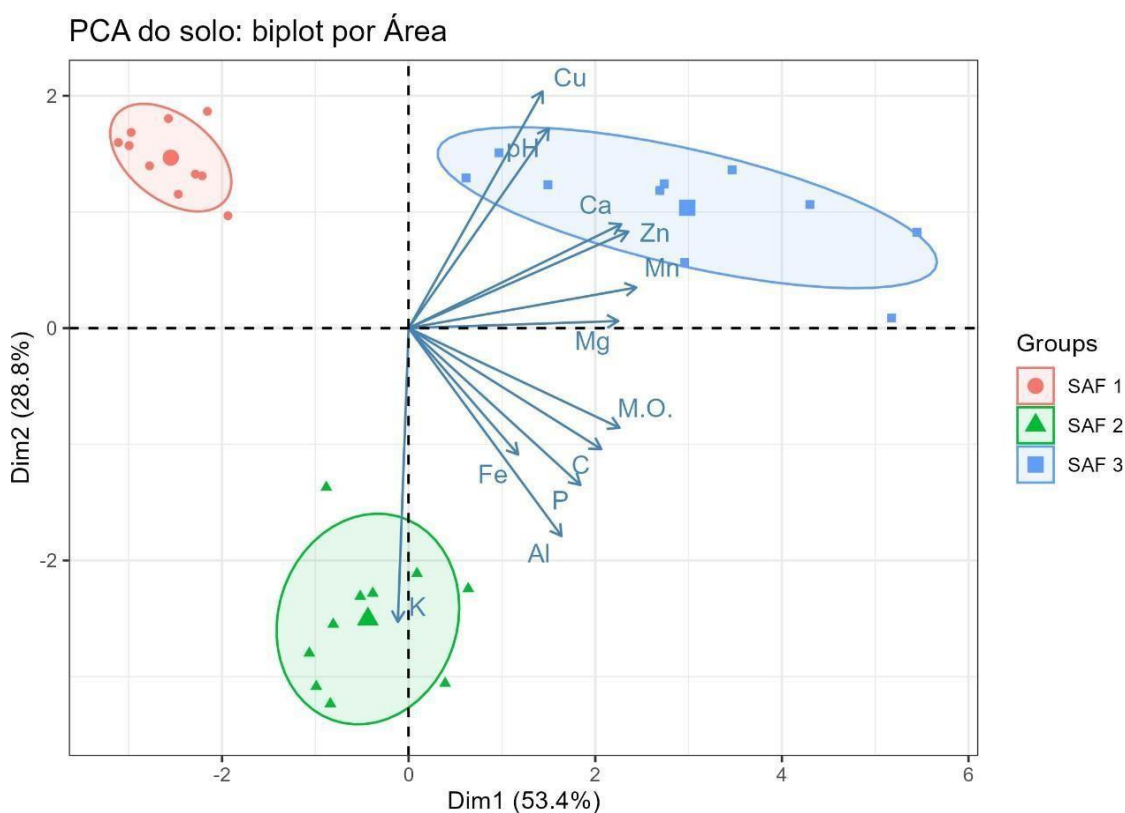


Figura 9. Análise de Componentes Principais (PCA) dos atributos químicos do solo nas três áreas avaliadas (SAF 1, SAF 2 e SAF 3). Os pontos representam amostras individuais e as elipses indicam intervalos de confiança (95%) para cada área. As setas indicam a direção e magnitude da contribuição das variáveis para a separação dos grupos, sendo que o comprimento da seta reflete a importância relativa de cada atributo. Dimensões 1 e 2 explicam, respectivamente, 53,4% e 28,8% da variabilidade total dos dados.

A Tabela 3 apresenta as médias de incremento anual em altura (mean_inc_ht) e diâmetro à altura do peito (mean_inc_DAP), bem como os principais atributos de fertilidade do solo (pH, C, MO, P, K, Ca, Mg, Al, Fe, Zn, Mn, Cu) para cada SAF.

Tabela 3. Médias por SAF de crescimento e atributos químicos do solo. IH – Incremento em altura (m/ano). IDAP – Incremento Diâmetro a Altura do Peito (cm/ano). C – Carbono (g/kg). MO – Matéria Orgânica (g/kg). P – Fósforo (mg/dm³). K – Potássio (cmolc/dm³). Ca – Cálcio (cmolc/dm³). Mg – Magnésio (cmolc/dm³). Al – Alumínio (cmolc/dm³). Fe – Ferro (mg/kg). Zn – Zinco (mg/kg), Mn – Manganês (mg/kg). Cu – Cobre (mg/kg).

Área	IH	IDAP	pH	C	MO	P	K	Ca	Mg	Al	Fe	Zn	Mn	Cu
SAF 1	1,13	2,20	4,58	2,92	5,03	1,03	0,012	0,076	0,029	0,894	148,0	0,220	0,333	0,533
SAF 2	0,95	1,22	4,48	9,04	15,6	3,22	0,135	0,074	0,038	1,30	174,0	0,257	0,467	0,233
SAF 3	1,54	2,16	4,73	10,6	20,1	3,00	0,021	0,189	0,054	1,23	172,0	0,890	0,867	1,15

5.4. Relação descritiva entre atributos de solo e crescimento médio anual por SAF

O incremento médio anual em altura foi mais elevado no SAF 3 ($\approx 1,54$ m/ano), seguido pelo SAF 1 ($\approx 1,13$ m/ano) e, por último, pelo SAF 2 ($\approx 0,95$ m/ano). Para o diâmetro à altura do peito (DAP), observaram-se valores semelhantes entre o SAF 1 e o SAF 3 ($\approx 2,20$ e $2,16$ cm/ano, respectivamente), enquanto o SAF 2 apresentou o menor incremento ($\approx 1,22$ cm/ano).

Quanto aos atributos químicos do solo, o SAF 3 registrou os maiores teores de carbono total ($\approx 10,6$ g/kg) e matéria orgânica ($\approx 20,1$ g/kg), seguido pelo SAF 2 ($\approx 9,04$ g/kg e $15,6$ g/kg) e, por último, pelo SAF 1 ($\approx 2,92$ g/kg e $5,03$ g/kg). O pH foi ligeiramente superior no SAF 3 (4,73) em relação aos demais. O fósforo disponível apresentou maior concentração no SAF 2 ($3,22$ mg/dm³), seguido pelo SAF 3 ($3,00$ mg/dm³) e pelo SAF 1 ($1,03$ mg/dm³). O potássio destacou-se no SAF 2, com o valor mais elevado ($0,135$ cmolc/dm³). Cálcio e magnésio foram mais abundantes no SAF 3, indicando maior saturação por bases nessa área. Entre os micronutrientes, Zn e Cu apresentaram teores particularmente elevados no SAF 3.

De forma geral, o SAF 3, caracterizado por maior disponibilidade de matéria orgânica, carbono e nutrientes básicos, também obteve o maior incremento em altura, sugerindo relação positiva entre fertilidade do solo e crescimento das árvores. O SAF 1, mesmo com fertilidade inferior, apresentou incremento em DAP semelhante ao SAF 3, enquanto o SAF 2, apesar de fertilidade intermediária, registrou os menores valores de crescimento. Essas discrepâncias podem estar associadas a outros fatores, como manejo, densidade de plantio e características locais do sítio.

Cabe destacar que, devido ao número limitado de observações ($n = 3$ SAFs), não foi realizada análise estatística inferencial, e as interpretações apresentadas têm caráter descritivo. As Figuras 10 e 11 ilustram a relação entre incremento em altura e atributos selecionados (ex.: matéria orgânica e pH), destacando visualmente os padrões identificados.

Os resultados indicam que o SAF 3, com maiores teores de matéria orgânica ($\approx 20,1$ g/kg), carbono total ($\approx 10,6$ g/kg) e nutrientes básicos (Ca e Mg), apresentou também o maior incremento médio anual em altura ($\approx 1,54$ m/ano). Essa relação positiva entre fertilidade e crescimento é amplamente descrita na literatura para sistemas agroflorestais na Amazônia, onde o aporte contínuo de liteira, a ciclagem de nutrientes e a maior

atividade biológica promovem melhoria nas condições químicas e físicas do solo Pinho et al. (2012). Estudos como os de Santos et al. (2017) em Tomé-Açu e Cherubin et al. (2019) na Amazônia Colombiana também apontam que SAFs bem manejados mantêm ou recuperam a qualidade do solo em níveis comparáveis ou superiores aos de vegetação secundária, refletindo-se em maior vigor das espécies arbóreas.

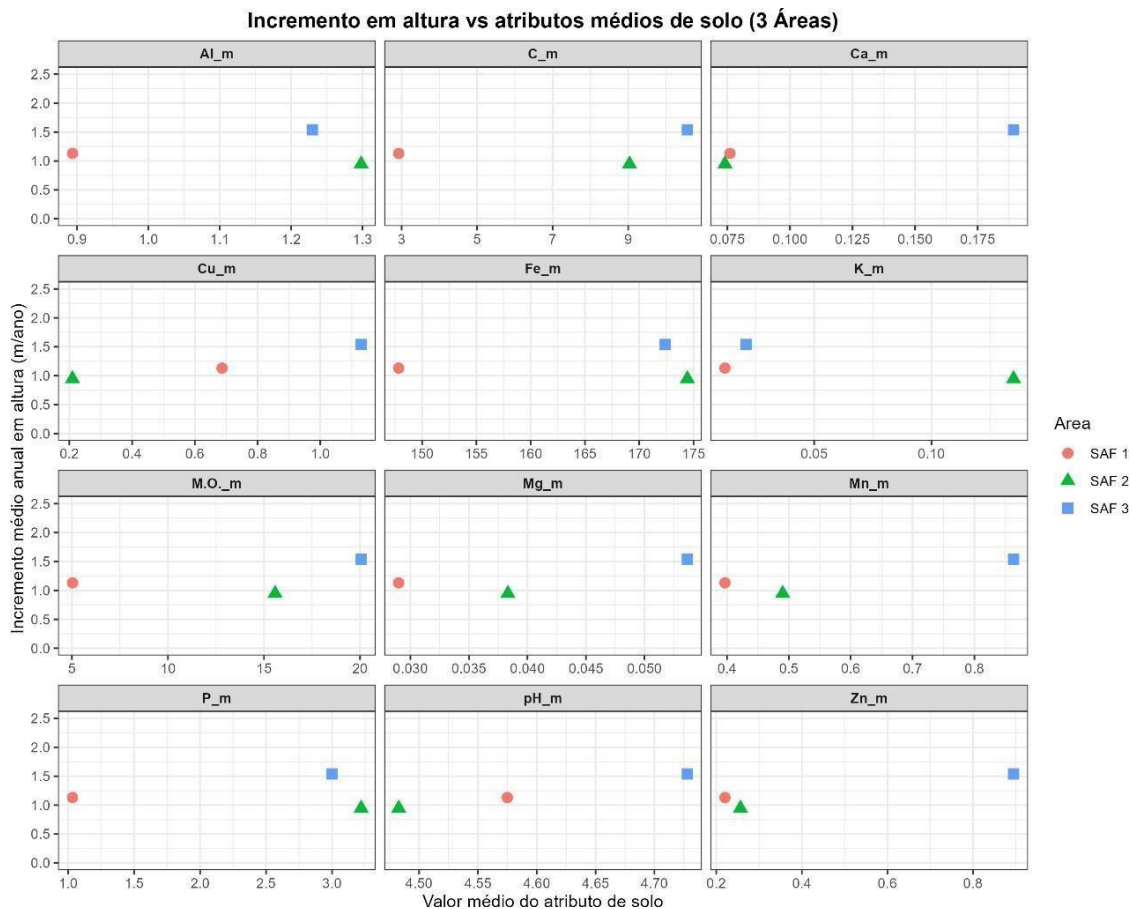


Figura 10. Relação entre o incremento médio anual em altura total de *Carapa guianensis* (andiroba) e os valores médios dos atributos químicos do solo (pH, carbono total, matéria orgânica, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, alumínio, ferro, zinco, manganês e cobre) em três sistemas agroflorestais (SAFs 1, 2 e 3). Cada ponto representa a média da variável para cada área. As cores e formatos de pontos indicam os diferentes SAFs.

O desempenho do SAF 1, que apresentou baixo teor de MO e C, mas incremento em DAP semelhante ao SAF 3 ($\approx 2,20$ cm/ano), sugere que outros fatores, como densidade de plantio, composição florística e práticas de manejo, podem mitigar parcialmente os efeitos da baixa fertilidade. Sousa et al. (2009) demonstraram que variações microambientais e disponibilidade de nutrientes afetam diferentemente altura e

diâmetro, e que espécies de maior plasticidade podem manter crescimento diametral mesmo em solos menos férteis. Além disso, o arranjo espacial e o sombreamento, conforme discutido por Baloneque et al. (2022), podem influenciar o incremento em DAP independentemente dos níveis de fertilidade.

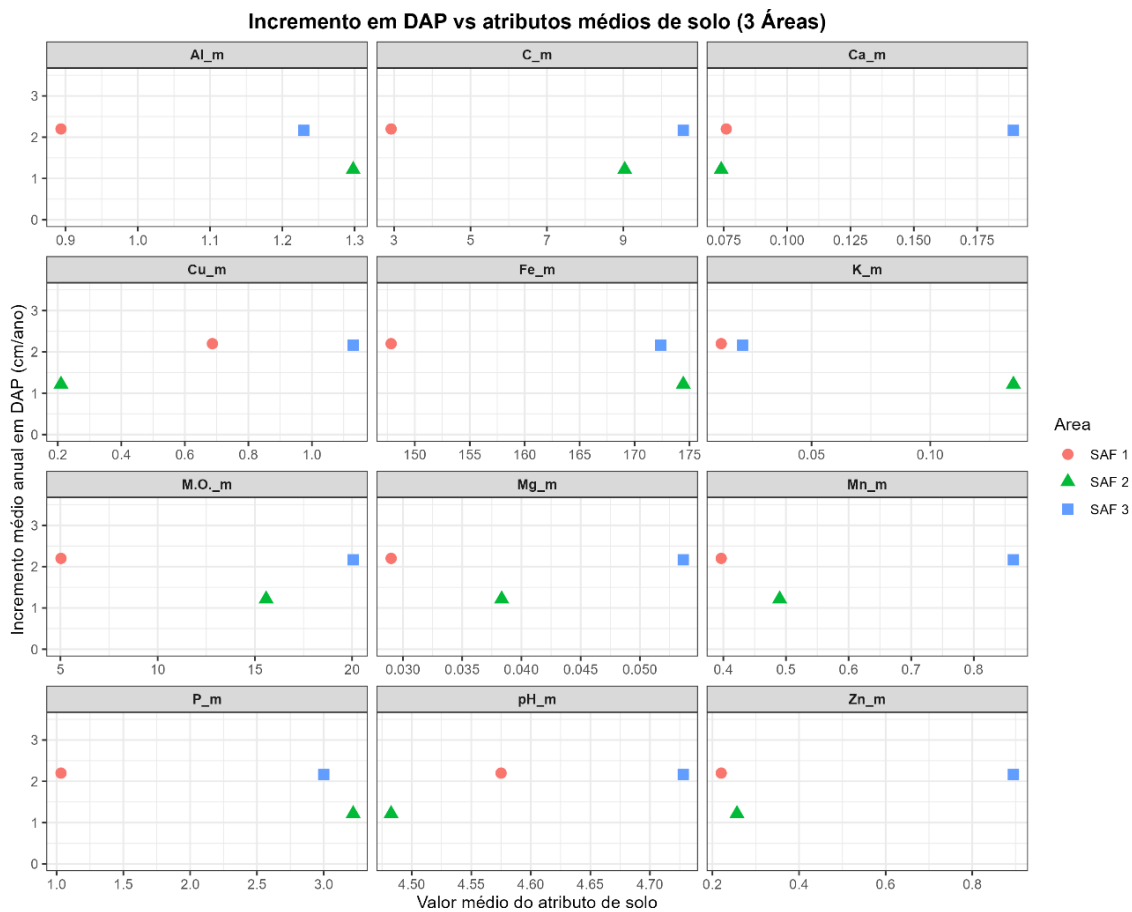


Figura 11. Relação entre o incremento médio anual em diâmetro à altura do peito (DAP) de *Carapa guianensis* (andiroba) e os valores médios dos atributos químicos do solo (pH, carbono total, matéria orgânica, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, alumínio, ferro, zinco, manganês e cobre) em três sistemas agroflorestais (SAFs 1, 2 e 3). Cada ponto representa a média da variável para cada área. As cores e formatos de pontos indicam os diferentes SAFs.

O SAF 2, por sua vez, apresentou fertilidade intermediária — com destaque para P disponível (3,22 mg/dm³) e K (0,135 cmolc/dm³) — mas exibiu os menores incrementos em altura ($\approx 0,95$ m/ano) e DAP ($\approx 1,22$ cm/ano). Esse descompasso reforça que nutrientes isolados, como o P, não garantem desempenho superior sem equilíbrio nos demais elementos e condições físicas do solo, corroborando os apontamentos de Sharma (2013) sobre a necessidade de sistemas radiculares vigorosos e boa estrutura física para

pleno aproveitamento dos nutrientes. O estresse hídrico e a competição interespecífica, fatores destacados por Rayol & Alvino-Rayol (2019), também podem explicar taxas de crescimento mais baixas mesmo em áreas com disponibilidade moderada de nutrientes.

A associação entre atributos químicos e crescimento observada no presente estudo dialoga com achados de Van Hung Do et al. (2020) e Smith et al. (2022), que destacam que a produtividade em SAFs não depende apenas de parâmetros químicos do solo, mas resulta de interações entre manejo, composição do sistema, idade e objetivos produtivos. O SAF 3, com maior fertilidade e crescimento, ilustra um cenário de sinergia entre qualidade do solo e desempenho arbóreo, enquanto o SAF 1 e SAF 2 revelam como arranjos e condições locais podem alterar essas relações.

Por fim, embora não tenha sido realizada correlação estatística devido ao número reduzido de unidades ($n = 3$), os padrões descritos indicam caminhos para futuros trabalhos com maior número de repetições, permitindo análise multivariada. Tais abordagens poderiam integrar indicadores de fertilidade, estrutura física do solo (p. ex., VESS) e métricas de crescimento, seguindo propostas metodológicas aplicadas por Cherubin et al. (2019) e Tonini et al. (2009). Isso permitiria quantificar com maior robustez a influência dos atributos edáficos sobre o desempenho de espécies arbóreas em SAFs amazônicos.

5.5. Características de frutos e sementes de andirobas com 10 anos em SAFs

Apesar dos frutos de andiroba serem deiscentes, somente se abrem após a queda. Por essa característica, a coleta de frutos é realizada no chão, para garantir que as sementes estejam maduras (Ferraz et al., 2003). Portanto, há dificuldade de se obter frutos maduros intactos. Para comparar os aspectos biométricos e de qualidade de frutos e sementes de andiroba produzidos nos SAFs, foi coletado também, frutos da floresta primária que faz parte da TI que abrange o Rio Andirá.

Observa-se na Tabela 4 que existe uma grande variação nas dimensões dos frutos maduros de andiroba. Essa variação foi maior nos frutos procedentes da floresta primária, em que não se tem o controle das idades e características dos indivíduos. Entre as características avaliadas, a de maior variação foi para a massa fresca, nos quais frutos da Floresta 1, a massa máxima foi de 690,6 g e a mínima de 237,6 g entre os frutos avaliados; e para os frutos da Floresta 2, a massa máxima foi de 646,1 g e a mínima de 186,7 g.

Tabela 4. Características biométricas de frutos de andiroba (*Carapa guianensis*), coletados em indivíduos da floresta e em indivíduos com 10 anos, implantadas em Sistemas Agroflorestais nas Terras Indígenas Sateré-Mawé. N = 10. Média (χ). Máximo (Max.). Mínimo (Min.). Desvio Padrão (D.P.).

Área de coleta	Características								
	Comprimento (mm)			Diâmetro (mm)			Massa fresca (g)		
	χ	Max.-Min.	D.P.	χ	Max.-Min.	D.P.	χ	Max.-Min.	D.P.
Floresta 1	95,5	112,9-81,8	10,33	93,9	107,6-85,0	6,37	437,1	690,6-237,6	139,96
Floresta 2	87,4	104,9-70,3	11,15	90,3	105,0-74,2	9,68	359,3	646,1-186,7	139,44
SAF 1	87,9	98,3-72,7	9,75	88,1	100,0-78,8	7,46	342,8	474,7-247,4	91,50
SAF 2	104,7	115,7-98,1	5,16	92,3	103,2-81,5	6,31	409,7	509,8-340,0	55,40
SAF 3	92,3	118,2-78,4	11,48	85,0	95,1-72,7	7,89	354,2	560,9-230,4	109,82

Comparando a média das dimensões dos frutos de andiroba, observa-se na Tabela 5 que para a massa fresca, não houve diferença estatística entre as diferentes procedências. Para a dimensão comprimento, os frutos procedentes do SAF 2 apresentaram as maiores médias, não diferindo estatisticamente dos frutos procedentes da Floresta 1. E para a dimensão diâmetro, os frutos da Floresta 1 apresentaram as maiores médias, mas não diferiu estatisticamente dos frutos procedentes da Floresta 2, SAF 1 e SAF 2.

Tabela 5. Médias das dimensões dos frutos de andiroba (*Carapa guianensis*), coletados em indivíduos da floresta e em indivíduos com 10 anos, implantadas em Sistemas Agroflorestais nas Terras Indígenas Sateré-Mawé. N = 10. Coeficiente de Variação (C.V.).

Área de coleta	Características		
	Comprimento (mm)	Diâmetro (mm)	Massa fresca (g)
Floresta 1 – Praia Dourada	95,5 ab	93,9 a	437,1 a
Floresta 2 – Praia Dourada	87,4 b	90,3 ab	359,3 a
SAF 1 – Nova União	87,9 b	92,3 ab	409,7 a
SAF 2 – Vinte Quilos	104,7 a	88,1 ab	342,8 a
SAF 3 – Guaranatuba	92,3 b	85,0 b	354,2 a
C.V. (%)	9.22	8.15	28.25

*Médias com a mesma letra na coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey.

Apesar da massa fresca do fruto apresentar grande variação dentro da mesma procedência (Tabela 5), em média não apresentou diferença estatística, demonstrando que essa variação ocorre independente do ambiente e da idade do indivíduo. E, portanto, pode-se inferir que os frutos produzidos por indivíduos em SAFs, não variam dos aspectos biométricos dos frutos produzidos por indivíduos da floresta.

Essa característica da variação nas dimensões dos frutos de *C. guianensis* pode

ser comprovado na literatura. Ferraz et al. (2003) descrevem para comprimento 55,0-108,0 mm e média 85,0 mm; diâmetro 6,1-105,0 mm e média 86,0 mm; massa fresca 93,0-542,0 g e média 356 g e Lourenço et al. (2017) descreveram comprimento 84-101 mm e média 91,6 mm; diâmetro 77-109 mm e média 90,4 mm; massa fresca 293,0-647,0 g e média 421,2 g. Vale ressaltar que esses frutos são provenientes da floresta em que não se tem as informações dos indivíduos.

As sementes, também apresentaram grande variação nas dimensões avaliadas para todas as procedências, demonstrado pela amplitude de variação (Tabela 6).

Pelas características morfológicas das sementes de *C. guianensis*, torna-se difícil a interpretação das dimensões de comprimento, largura e espessura. Devido a essa característica, essas dimensões podem apresentar-se de forma diferente na literatura. Ferraz et al. (2003) descrevem para comprimento 17,0-60,0 mm e média 47,0 mm; largura 14-54,0 mm e média 39,0 mm; espessura 15-42 mm e média 31,0 mm; massa fresca 1,0-70,0 g e média 25 g e Lourenço et al. (2017) comprimento 36,7-54,8 mm e média 46,3 mm; largura 33,2-41,5 mm e média 36,1 mm; massa fresca 19,8-38,2 g e média 27,2 g. Santos et al. (2019) encontraram em média para altura 38,2 mm, comprimento 33,6 mm e espessura 33,0 mm. As dimensões das sementes apresentadas neste estudo se assemelham as descritas por Ferraz et al. (2003) e Lourenço et al. (2017).

Tabela 6. Características biométricas de sementes de andiroba (*Carapa guianensis*), coletados em indivíduos da floresta e em indivíduos com 10 anos, implantadas em Sistemas Agroflorestais nas Terras Indígenas Sateré-Mawé. N = 30. Média (χ). Amplitude de Variação (A.V). Desvio Padrão (D.P.).

Área de coleta	Características											
	Comprimento (mm)			Largura (mm)			Espessura (mm)			Massa fresca (g)		
	χ	A.V.	D.P.	χ	A.V.	D.P.	χ	A.V.	D.P.	χ	A.V.	D.P.
Floresta 1	49,5	17,2	4,15	37,5	23,5	5,00	35,5	31,6	8,16	25,8	26,4	4,71
Floresta 2	51,1	32,6	7,19	39,9	20,3	5,10	47,7	31,7	9,45	36,7	22,9	4,87
SAF 1	47,1	21,1	4,90	37,5	16,3	3,61	30,0	24,1	5,48	21,4	18,4	5,15
SAF 2	50,3	19,2	5,81	38,7	20,8	4,68	31,8	28,7	7,20	24,9	28,8	8,32
SAF 3	46,7	23,5	6,92	35,8	19,0	4,77	33,0	30,9	7,67	23,3	26,8	9,03

Comparando as médias das dimensões, observa-se na Tabela 7 que as sementes procedentes da Floresta 2 apresentaram as maiores dimensões para as características de espessura e massa fresca. Para as características largura e comprimento não houve diferenças significativas entre as procedências, mas, observa-se os maiores valores numéricos para as sementes procedentes da Floresta 2.

Tabela 7. Médias das dimensões das sementes de andiroba (*Carapa guianensis*), coletados em indivíduos da floresta e em indivíduos com 10 anos, implantadas em Sistemas Agroflorestais nas Terras Indígenas Sateré-Mawé. N = 30.

Área de coleta	Características			
	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Espessura (mm)	Massa fresca (g)
Floresta 1 – Praia Dourada	49,5 a	37,5 ab	35,5 b	25,8 b
Floresta 2 – Praia Dourada	51,1 a	39,9 a	47,7 a	36,7 a
SAF 1 – Nova União	47,1 a	37,5 ab	30,0 b	21,4 bc
SAF 2 – Vinte Quilos	50,3 a	38,7 ab	31,8 b	24,9 bc
SAF 3 – Guaranatuba	46,7 a	35,8 b	33,0 b	23,3 bc
C.V. (%)	5.40	5.09	10.94	10.06

*Médias com a mesma letra na coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey.

No geral, pelas características biométricas dos frutos e sementes avaliados neste estudo, não se pode afirmar qual SAF produziu frutos e sementes de maior tamanho.

Em relação aos danos observados nas sementes através do Raio X, podemos observar na Figura 12, que das 30 sementes de cada procedência observadas, a maior porcentagem de danos ocorreu no SAF 2 e que nas sementes procedentes da Floresta 2 não foi observada danos. No entanto, a estatística não paramétrica demonstrou não significância nas médias por categoria entre as procedências.

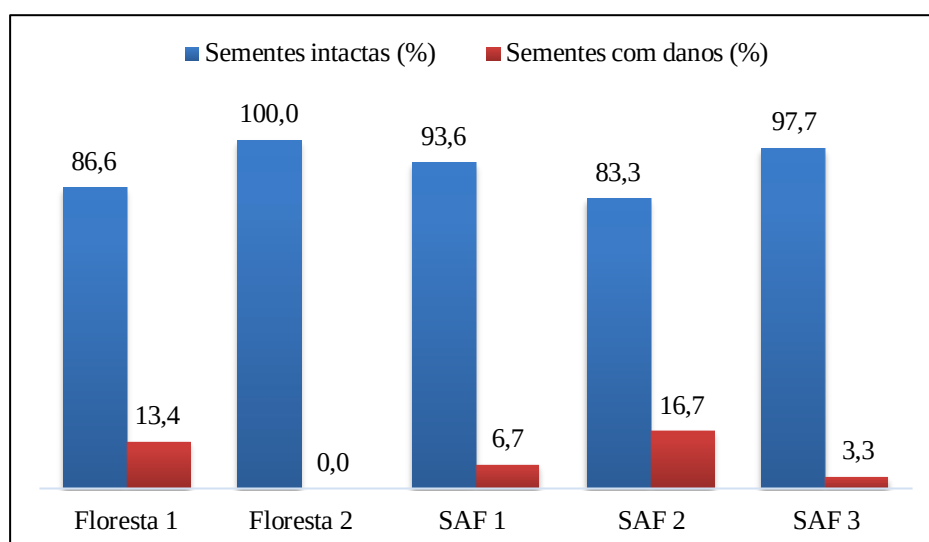


Figura 12. Médias das porcentagens de sementes de andiroba (*Carapa guianensis*), intactas e com danos, coletados em indivíduos da floresta e indivíduos com 10 anos, implantadas em Sistemas Agroflorestais nas Terras Indígenas Sateré-Mawé. N = 30.

*Médias por categoria entre as procedências, não significativas pelo Teste de Kruskal-Wallis.

Observa-se na Figura 13 que o maior tipo de dano que ocorrem nas sementes de andiroba é por predação, tanto por fungos como por larva de insetos. Isso se deve a suscetibilidade das sementes aos processos de deterioração acentuada causada por fissuras decorrentes da queda dos frutos, e por microfissuras formadas durante a desidratação. Após a queda ao solo, a abertura das válvulas das cápsulas expõe as sementes a partículas de poeira, componentes do solo e umidade, elevando significativamente o risco de contaminação microbiana no estágio de coleta. A proliferação de agentes fúngicos e outros microrganismos é exacerbada pela atividade de insetos, que contribuem para o aumento da diversidade da microbiota contaminante. Esta interação ecológica culmina na predação das sementes por insetos, o que compromete intrinsecamente a qualidade seminal, resultando na diminuição de seu potencial germinativo. As implicações perpassam a regeneração das espécies, estendendo-se à produção de óleo, uma vez que a predação reduz a disponibilidade de sementes, impactando tanto a quantidade quanto, indiretamente, a qualidade do óleo final (Plowden 2004; Pinto et al., 2013; Scussel et al. 2014; Santos e Pellicciotti, 2016; Silva e Scussel, 2020).

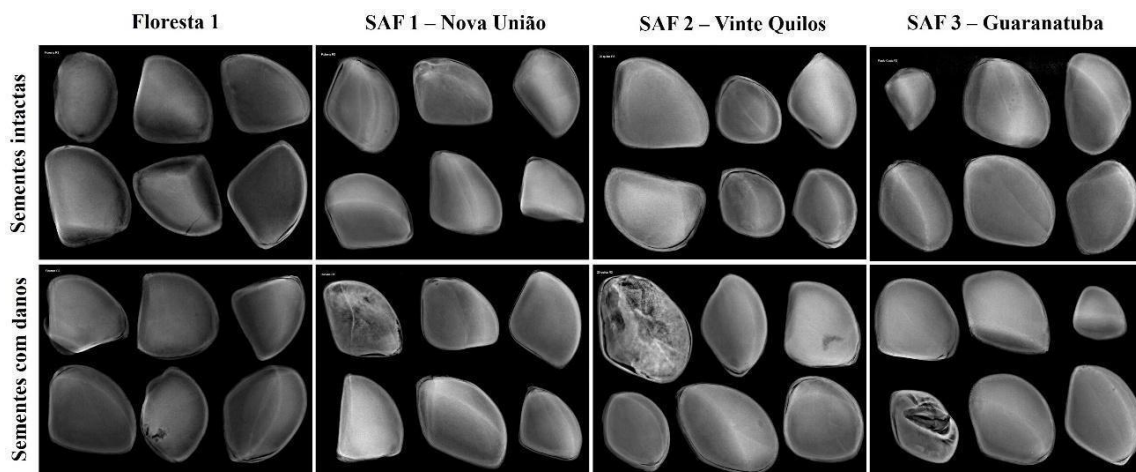


Figura 13. Aspectos das sementes de andiroba (*Carapa guianensis*) capturadas por imagens de Raio X, coletados de indivíduos da floresta e de indivíduos com 10 anos, implantadas em Sistemas Agroflorestais nas Terras Indígenas Sateré-Mawé. N = 30 (5X6).

De acordo com Silva et al. (2025) a superfície da casca das sementes de andiroba apresenta um relevo bastante irregular, permitindo o acúmulo e a absorção de umidade, favorecendo a aderência e o desenvolvimento de conídios fúngicos. Dionísio et al. (2016) reportam que a infestação da semente de *C. guianensis* por *Hypsipyla grandella* e *H. ferrealis* pode ocorrer ainda na planta, ou posterior a queda dos frutos no solo, pela

oviposição das mariposas. Os autores afirmam que esse processo de infestação dentro da semente ocorre após a eclosão das larvas que perfuram o endocarpo e passam a se alimentar das reservas da semente.

Silva et al. (2025) recomendam para minimizar o risco de deterioração das sementes nas condições quentes e úmidas dos locais de coleta, dispositivos de coleta que impeçam a queda das sementes no solo, ventilação durante o transporte e limpeza, secagem e despacho imediatos. Portanto, podemos afirmar que essas recomendações são mais fáceis de serem manejadas em SAFs, o que se torna uma vantagem para a produção de sementes destinadas a produção de óleo de qualidade, como também para a produção de sementes com qualidade para o plantio.

Outro fator que pode influenciar a predação por insetos é a falta de barreira para as plantas de andiroba que se sobressaem no estrato dos SAFs estudados, diferente dos indivíduos da floresta. Pinto et al. (2013) avaliaram os insetos associados à predação de sementes de *C. guianensis* e *C. procera* na estratificação vertical das árvores da floresta e observaram que os frutos e respectivas sementes localizados no terço inferior das copas das árvores são o principal alvo de predação por insetos nessas espécies. Vale ressaltar a importância da estratificação e dos arranjos das espécies para o bom desenvolvimento das espécies florestais. A estratificação de sistemas agroflorestais proporciona condições ambientais favoráveis para o desenvolvimento das culturas (Rayol e Alvino-Rayol, 2019). Estudos já demonstraram que SAFs em estado sucessional, contribuem com a diminuição do ataque de *Hypsipyla grandella* em plantas de mogno (*Swietenia macrophylla*) e andiroba (*Carapa guianensis*) em desenvolvimento (Marques et al. 1993; Rayol e Alvino-Rayol, 2019).

A grande contribuição deste trabalho em relação a avaliação da qualidade das sementes, foi a eficiência e nitidez da captura de imagens pelo Raio X, que permitiu avaliar e interpretar com segurança, as imagens das sementes com e sem danos de forma direta, podendo-se ainda, fazer a separação das sementes boas das sementes de má qualidade, sem destruir a semente.

O nível atual de pesquisa científica de sementes requer o uso de métodos físicos e instrumentais que permitam obter informações detalhadas sobre as características internas e externas da integridade estrutural da semente (Arkhipov et al., 2019). Para Pinheiro et al. (2022) soluções baseadas em análise de imagens são uma tendência crescente para melhorar a qualidade das sementes florestais. A análise automática de imagens de microfoco de Raio X, foi eficiente para detectar defeitos ocultos em sementes

florestais de *Pinus sibirica* e *P. koraiensis* (Arkhipov et al., 2020). A técnica de Raio X pode ser considerada válida para estabelecer uma relação entre a qualidade física e fisiológica das sementes de *Anadenanthera peregrina* (Pinheiro et al., 2022). A análise de imagem e densitometria de Raio X foi eficiente para avaliar o processo de maturidade de sementes de *Euterpe edulis* (Melo et al., 2024).

No período da coleta de dados dendrométricos e de solos, já havia iniciado a maturação de frutos (queda dos frutos), o que inviabilizou realizar a estimativa da produção. Freitas et al. (2010) estudaram as fenofases de espécies arbóreas frutíferas em um SAFs no estado do Amapá, e observaram que para *C. guianensis* a fase de floração foi a mais longa, 7 meses, e fase de frutificação, em média 5 meses. No estudo de Lourenço et al. (2017) no município de Parintins-AM, foi feita uma revisão da produção de frutos e sementes de andiroba e relataram que, as andirobeiras podem apresentar anos de baixa e de alta produtividade, ou apresentar anos sem produção e atribui-se essa sazonalidade como parte da autoecologia da espécie. Os autores também relataram diferentes registros de quantidade de frutos e sementes produzidos por indivíduo, 22,0 a 200,0 kg.

Nos indivíduos de andiroba da floresta, foi observado que os mais produtivos são com DAP maior que 30 cm; no entanto, esses estudos confirmam que a espessura do DAP não determina a idade produtiva da espécie (Londres et al., 2017; Lourenço et al., 2017). Mas, influencia na sazonalidade de produção em uma população, em que indivíduos com DAP entre 10-20 cm apresentaram maior porcentagem de ausência de produção, tanto de um ano para outro como ausência total nos dois anos, comparados aos indivíduos com DAP >30 cm (Londres et al., 2017). Estudo realizado por Tonini et al. (2009) em floresta de terra firme no estado de Roraima, considerou o diâmetro de 30 cm como limítrofe para a produção comercial de sementes, permitindo estratificar a população em jovens ($DAP \leq 30$ cm) e adultos ($DAP > 30$ cm).

Interessante relatar que os 30 indivíduos em SAFs deste estudo, estavam produzindo frutos com DAP mínimo de 9,5 cm e máximo de 36,9 cm. Isso revela que andirobeiras em SAFs começam a produzir antes de 10 anos de idade, independentemente de seu incremento de crescimento e a fertilidade do solo. Comportamento contrário foi relatado por Villacorta et al. (2023), em que o diâmetro mínimo para produção de frutos na planície de inundação (10,2 cm de DAP) foi mais de duas vezes menor do que na terra-firme (25,5 cm de DAP). Outro fato interessante relatado pelos autores supracitados, é que a maior densidade de indivíduos de *C. guianensis* reprodutivos, na planície de

inundação pode aumentar a eficiência da polinização e, consequentemente, a produção de frutos em relação às da terras-firme, onde uma menor densidade de árvores maduras poderia diminuir a eficiência da polinização e a produção de frutos. Isso demonstra mais uma vez, a vantagem de se produzir andirobas em SAFs, aumentando o número de indivíduos por arranjo agroflorestal.

Como observado na literatura, é difícil dar um número exato de produção para qualquer árvore de andiroba, mas a faixa de 20 a 200 kg de sementes por árvore anualmente é uma estimativa frequentemente citada para árvores adultas e produtivas. É importante lembrar que nem todas as árvores frutificam todos os anos, e a produtividade pode ser bastante irregular entre os indivíduos. Essas informações são cruciais para o planejamento de plantios, estimativa de rendimento e para o manejo sustentável da espécie, seja em áreas de extrativismo ou em sistemas agroflorestais.

Portanto, para completar o estudo com os indivíduos mensurados neste estudo, recomenda-se verificar a sazonalidade e avaliar a produção durante os cinco meses de produção. Deve-se coletar todas as sementes encontradas no chão embaixo da copa, pelo menos uma vez por semana, para quantificar o número de sementes produzidas por árvore.

6. CONCLUSÃO

Os indivíduos de *C. guianensis* com 10 anos de idade cultivados em SAFs apresentaram crescimento vegetativo e reprodutivo satisfatórios. Foi observado produção de frutos em todos os indivíduos mensurados com DAP de 9,5 a 36,9 cm e Altura total 3,0 a 19,0 m.

De forma geral, a fertilidade do solo e o manejo dos SAFs, influenciaram no crescimento das andirobas. O SAF com melhor desempenho das andirobas, apresenta maior densidade entre as espécies e é composto por frutíferas nativas e exóticas. Esses padrões destacaram o SAF 3 por apresentar os maiores teores médios de nutrientes e exibir maior integração entre os atributos do solo, caracterizando um ambiente edáfico mais equilibrado e possivelmente mais favorável ao desenvolvimento das espécies cultivadas. Essas características observadas entre os SAFs sugerem que outros fatores como densidade de plantio, composição florística e práticas de manejo, podem mitigar parcialmente os efeitos da baixa fertilidade do solo.

As características biométricas de frutos e sementes produzidos nos SAFs avaliados, são semelhantes aos da floresta. Não houve diferença entre os SAFs no tamanho de frutos e sementes. A maior perda na qualidade das sementes é por predação por larvas de insetos e fungos, tanto as sementes procedentes dos SAFs quanto as da floresta. A avaliação da qualidade das sementes pelo método de Raio X, permitiu avaliar e interpretar com segurança, as imagens das sementes com e sem danos de forma direta, podendo-se ainda, fazer a separação das sementes boas das sementes de má qualidade, sem destruir a semente.

Os resultados deste estudo reforçam o potencial da andiroba como espécie-chave em SAFs, sobretudo quando combinada com práticas que otimizem a fertilidade do solo e o manejo da competição.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, J. C.; SOARES, J. A. B.; FEIDEN, A.; PADOVAN, M. P. Sistemas agroflorestais biodiversos: segurança alimentar e bem-estar às famílias agricultoras. *Revista GeoPantanal*, v. 14, p. 75-94, 2019.
- ARAÚJO, E. C. G.; SILVA, T. C.; CUNHA NETO, E. M. et al. Bioeconomy in the Amazon: Lessons and gaps from thirty years of non-timber forest products research. *Journal of Environmental Management*, v. 370, 2024.
- ARKHIPOV, M. V.; PRIYATKIN, N. S.; GUSAKOVA, L. P.; KARAMYSHEVA, A. V.; TROFIMUK, L. P.; POTRAKHOV, N. M.; BESSONOV, V. B.; SHCHUKINA, P. A. Microfocus X-Ray Method for Detecting Hidden Defects in Seeds of Woody Forest Species and Other Types of Vascular Plants. *Physics-Life Sciences*, v. 65, p. 324-332, 2020.
- ARKHIPOV, M. V.; PRIYATKIN, N. S.; GUSAKOVA, L. P.; POTRAKHOV, N. M.; GRYAZNOV, A. Yu; BESSONOV, V. B.; OBODOVSKII, A. V.; STAROVEROV, N. E. X-Ray Computer Methods for Studying the Structural Integrity of Seeds and Their Importance in Modern Seed Science. *Biomedical Physics*, v. 64, p. 582-592, 2019.
- BALONEQUE, D. D.; PAULETTO, D.; LOPES, L. S. S.; RODE, R.; OLIVEIRA, T. G. S. Variáveis morfológicas de quatro espécies florestais em sistema silvipastoril no município de Belterra, Pará. *Research, Society and Development*, v. 11, n. 3, e43511326761, 2022.
- BENTES-GAMA, M. M.; SCOLFORO, J. R. S.; GAMA, J. R. V. Potencial produtivo de madeira e palmito de uma floresta secundária de várzea baixa no estuário Amazônico. *Revista Árvore*, Viçosa, MG, v. 26, n. 3, p. 311-319. 2002.
- BRANDÃO, D. O.; BARATA, L. E. S.; NOBRE, I.; NOBRE, C. A. The effects of Amazon deforestation on non-timber forest products. *Regional Environmental Change*, v. 21, p.122, 2021.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Manejo florestal. 2020. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/florestas/manejo-florestal-sustent%C3%A1vel/produtosmadeireiros-e-n%C3%A3o-madeireiros.html>
- BRITO, A. D.; COELHO, R. R.; ROSAL, L. F. Os extrativistas de andiroba em projetos de assentamentos agroextrativistas (PAEX) da várzea de Igarapé-Miri, Pará. *Agroecossistemas*, v. 11, n. 2, p. 82-101, 2019.
- CAMARGO, G. M.; SCHLINDWEIN, M. M.; PADOVAN, M. P.; SILVA, L. F. Sistemas agroflorestais biodiversos: uma alternativa para pequenas propriedades rurais. *Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional*, v. 15, n. 1, p. 34-46, 2019.
- CARDOZO, E. G.; CELENTANO, D.; ROUSSEAU, G. X. et al. Agroforestry systems recover tree carbon stock faster than natural succession in Eastern Amazon, Brazil. *Agroforest Systems*, v. 96, p. 941–956, 2022.

CELENTANO, D.; ROUSSEAU, G.X.; PAIXÃO, L.S. et al. Carbon sequestration and nutrient cycling in agroforestry systems on degraded soils of Eastern Amazon, Brazil. *Agroforest Systems*, v. 94, p. 1781–1792, 2020.

CHERUBIN, M. R.; CHAVARRO-BERMEJO, J. P.; SILVA-OLAYA, A. M. Agroforestry systems improve soil physical quality in northwestern Colombian Amazon. *Agroforest Syst*, v. n. 93, p. 1741–1753, 2019.

COCHRANE, T. T.; SANCHEZ, L. G.; AZEVEDO, L. G.; PORRAS, J. A.; GARVER, C. L. *Land in Tropical América*. CIAT. vol. 3. 1985.

CONDÉ, T. M.; LIMA, M. L. M.; LIMA NETO, E. M.; TONINI, H. Morfometria de quatro espécies florestais em sistemas agroflorestais no município de Porto Velho, Rondônia. *Revista Agro@mbiente On-line*, v. 7, n. 1, p. 18-27, 2013.

CORREA da SILVA, V. E.; CASTILLO TORRES, D. del.; INGA SANCHES, H.; PAREDES DAVILA, E.; PINEDO PANDURO, M. H.; FREITAS ALVARADO, L. *Agroforestería familiar inundable y procesos de adaptación al medio ambiente en Loreto*. 1. Ed. Iquitos-Peru: Mantaraya, 2019. 168 p.

COSTA NETO, I. R.; RODRIGUES, M. S.; DIAS, Y. A. S. et al. Uso medicinal da *Carapa guianensis* (andiroba) – uma revisão integrativa. *Aracê*, v. 4, p. 16255–16265, 2024.

DANTAS, A. R.; LIRA-GUEDES, A. C.; MUSTIN, K.; APARÍCIO, W. C. S.; GUEDES, M. C. Phenology of the multi-use tree species *Carapa guianensis* in a floodplain forest of the Amazon Estuary. *Acta Botanica Brasilica*, v. 30, n. 4, p. 618-627, 2016.

DIONISIO, L. F. S.; LIMA, A. C. S.; CASTRO, T. M. M. G.; CORREIA, R. G.; MARTINS, W. B. R.; ABREU, V. S. Ocorrência de *Hypsipyla grandella* Zeller (Lepidoptera, Pyralidae) no Sul do Estado de Roraima. *EntomoBrasilis*, v. 9, n. 2, p. 97-100, 2016.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manejo florestal não madeireiro. Acre, 2021. disponível em: <https://www.embrapa.br/manejo-florestal-nao-madeireiro>. Acesso em: 18 out. 2023.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Produtos florestais não madeireiros: uso sustentável de açaí, andiroba, castanha, cipó-titica. Macapá, AP. 2012. disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/122259/1/CPAF-AP-2012-nao-madeireiros-pdf>. acesso em: 12 out. 2023.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p. (EMBRAPA-CNPS. Documentos, 1)

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília, 1999. 412p.

FERNANDES, I. Produtos florestais não madeireiros: conheça agora a importância. In: AGROPÓS, Minas Gerais, 2020. Disponível em: <https://agropos.com.br/produtos-florestais-nao-madeireiros/#:~:text=Os%20PFNMs%20desempenham%20um%20papel,reserva%20extrativista%20administrada%20pelas%20comunidades>.

FERRAZ, I. D. K.; CAMARGO, J. L. C.; SAMPAIO, P. T. B. Andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.; *Carapa procera*, D.C) Meliaceae. Manaus: INPA, 2003. 6p. (Manual de Sementes da Amazônia, 1).

FREITAS, A. F. de; CARNEIRO, J. J.; VENTURIN, N.; MOREIRA, F. M. S. de; FERREIRA, A. I. G.; OLIVEIRA, G. P. L. de; MIRANDA, R. M. de; FIGUEIRA, L. S. de; CARDOSO, I. M. *Inga edulis* Mart. intercropped with pasture improves soil quality without compromising forage yields, Agro forest Syst, Minas Gerais, p. 2355-2366, 2020.

FREITAS, J. L.; SANTOS, M. M. L. S.; OLIVEIRA, F. A. Fenologia reprodutiva de espécies potenciais para o arranjo em sistemas agroflorestais, na Ilha de Santana, Amapá. Revista de Ciências Agrárias, v. 53, n.1, p. 78-86, 2010.

FREY, G. E.; CHAMBERLAIN, J. L.; PRESTEMON, J. P. The potential for a backward-bending supply curve of non-timber forest products: An empirical case study of wild American ginseng production. Forest Policy and Economics, v. 97, p. 97–109, 2018.

GOMES, H.S.; Estrutura populacional e produção de andiroba em terra firme e várzea no sul do Amapá. 2010, 82 p. dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Amapá, Macapá, 2010.

HAGGAR, J.; PONS, D.; SAENZ, L.; VIDES, M. Contribution of agroforestry systems to sustaining biodiversity in fragmented forest landscapes. Agriculture, Ecosystems & Environment, v. 283, n. 1, p. 2019.

IBGE. Produção da extração vegetal e da silvicultura (PEVS). Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?> Acesso em: 12 dez. 2024.

INPI, Instituto Nacional da Propriedade Industrial, Diretoria de marcas, desenhos industriais e indicações geográficas; certificado de registro de indicação geográfica: B.R. 412016000005-2; I.G. Terra indígena Andirá – Marau. 2020.

ISA, Instituto Socioambiental, Terra indígena Andirá – Marau, in: ISA, Terras indígenas no Brasil. Manaus-AM, 2022. disponível em: <https://terrasindigenas.org.br/pt-br/terras-indigenas/3580>

KLIMAS, C. A.; KAINER, K. A.; WADT, L. H. O. The economic value of sustainable seed and timber harvests of multi-use species: An example using *Carapa guianensis*. Forest Ecology and Management, v. 268, n. 15, p. 81-91, 2012.

LEAKEY, R. R. B. Agroforestry Tree Products (AFTPs): targeting poverty reduction and enhanced livelihoods. Multifunctional Agriculture, p. 123–138, 2017.

LIMA, R. M. B. Desenvolvimento de espécies florestais estabelecidas em sistemas de policultivo. Relatório técnico do projeto Shift (jan/dez/1998). Projeto: Recuperação de áreas degradadas e abandonadas, através de sistemas de policultivos. Luadir Gasparotto & Gotz Schroth (editores). Manaus: (50-57). abr/1999.

LONDRES, M.; SCHULZE, M.; STAUDHAMMER, C. L.; KAINER, K. A. Population Structure and Fruit Production of *Carapa guianensis* (Andiroba) in Amazonian Floodplain Forests: Implications for Community-Based Management. *Tropical Conservation Science*, v. 10, 2017.

LOPES, D. B.; EULER, A. M. C.; FERREIRA, J. N. et al. Visões sobre bioeconomia na Amazônia: oportunidades e desafios para a atuação da Embrapa. Brasília, DF. 2023. 33 p. (Documentos 10/ EMBRAPA: Superintendência de Estratégia).

LOURENÇO, J. N. P.; FERREIRA, L. M. M.; MARTINS, G. C.; NASCIMENTO, D. G. Produção, biometria de frutos e sementes e extração do óleo de Andiroba (*Carapa guianensis* Aublet.) sob manejo comunitário em Parintins, AM. Parintins, AM. 2017. 36 p. (Documentos 138/ EMBRAPA: Amazônia Ocidental).

LOVEJOY, T. A importância fundamental da biodiversidade da Amazônia para o mundo, The World Bank, Brasília, mai. 2019. Disponível em: <https://www.worldbank.org/pt/news/feature/2019/05/22/why-the-amazons-biodiversity-is-critical-for-the-globe#:~:text=Por%20que%20essa%20biodiversidade%20%C3%A9,importante%20para%20o%20mundo%20inteiro>.

MAGALHÃES, C. A. S.; ZOLIN, C. A.; LULU, J. et al. Improvement of thermal comfort indices in agroforestry systems in the southern Brazilian Amazon. *Journal of Thermal Biology*, v. 91, 2020.

MARQUES, L. C. T.; YARED, J. A. G.; FERREIRA, C. A. P. Alternativa agroflorestal para pequenos produtores agrícolas em áreas de terra firme do município de Santarém, Pará. Belém: EMBRAPA. 18p. 1993. (Boletim de Pesquisa 147).

MELLO, N. G. R.; GULINCK, H.; BROECK, P. V.; PARRA, C. Social-ecological sustainability of non-timber forest products: A review and theoretical considerations for future research. *Forest Policy and Economics*, v. 112, p. 102-109, 2020.

MELO, de T.; ZANARDO, T. E. C.; TALIULI, Y. S.; SIMÕES, I. M.; BAPTISTA, J. O.; GONÇALVES, F. G. et al. Maturation and quality of seeds of *Euterpe edulis* Martius assessed by Imaging and X-Ray densitometry. *Trees*, v. 38, p. 1095-1108, 2024.

MOREIRA, A.; FAGEIRA, N. K. Communications in Soil Science and Plant. Analysis, v. 40, p. 2912 - 2925, 2009.

NAIR, R. An Introduction to Agroforestry. DORDRECH: Kluwer Academic Publishers, 1993.

PEREIRA, M. E.; ARAUJO, N.; CHAGAS, G. F. et al. Sistemas Agroflorestais:

Monitoramento de Impactos e Capacitação para o Manejo e a Comercialização. São Paulo: Secretaria de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística, Coordenadoria de Planejamento Ambiental. 90 p. 2025.

PEREIRA LUNZ, A. M.; SALES, F. de; ANDRADE NETO, R. de C.; NOGUEIRA, S. R.; ARAÚJO, C. S. de; FERREIRA LIMA, L. Crescimento de andirobeira em monocultivo e em sistema agroflorestal no município de Rio Branco, Acre. In: X Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais, Cuiabá – Mato Grosso, out. 2016.

PINHEIRO, D. T.; MEDEIROS, A. D. SOARES T. F. S. N.; CAPOBIANGO, N. P.; DIAS, D. C. F. S. Image analysis using X-ray to evaluate seed quality of *Anadenanthera peregrina* (L) Spag. Ciência Florestal, v. 32, n. 3, p. 1309-1322, 2022.

PINHO, R. C.; MILLER, R. P.; ALFAIA, S. S. Agroforestry and the improvement of soil fertility: a view from Amazônia, Creative Commons attribution, Manaus, p. 2, 2012.

PINTO, A. A.; TELES, E. R.; ANJOS, N.; COUCEIRO, S. R. M. Predação de sementes de andiroba [*Carapa guianensis* Aubl. e *Carapa procera* DC. (Meliaceae)] por insetos na Amazônia. Revista Árvore, v. 37, n. 6, p. 1115-1123, 2013.

PLOWDEN, C. The ecology and harvest of andiroba seeds for oil production in the Brazilian Amazon. Conservation and Society, v. 2, p. 251-272, 2004.

POMPEU, G. S. S.; ROSA, L. S.; MODESTO, R. S.; SANTOS M. M.; RODRIGUES, A. F. Sistemas agroflorestais comerciais em área de agricultores familiares no município de Bragança, Pará: um estudo de caso. Revista de Ciências Agrárias. v.51, n.2, p.191-210, 2009.

R CORE TEAM. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2019.

RAYOL, B. P.; ALVINO-RAYOL, F. O. Desenvolvimento inicial de espécies arbóreas em sistemas agroflorestais no Baixo Amazonas, Pará, Brasil. Revista de Ciências Agroveterinárias, v. 18, n. 1, 2019.

RIBEIRO, S. M. C.; JARDIM, H. L.; AZEVEDO, U. R.; COELHO, V.; BACHI, L. S.; SOARES-FILHO, B. Non-Timber Forest Products (NTFP) in the Brazilian Amazon and Cerrado biomes: multi scale governance for Implementing enhanced socio-biodiversity chains. Sustainability in Debate, v. 11, n.2, p. 42-61, 2020.

RIBASKI, J.; MONTOYA, L. J.; RODIGHERI, H. R. Sistemas agroflorestais: aspectos ambientais e sócioeconômicos, Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.22, n. 212, p. 61-67, 2001.

ROSENFELD, T.; POKORNY, B.; MARCOVITCH, J.; POSCHEN, P. Local Development Based on Non-Timber Forest Products: Evidence from a Mapping of Initiatives in the Brazilian Amazon since Rio 1992. Sustainability, v. 16, 2024.

SÁ, R. J. da S. de; FÉLIX, I. B.; SOUZA, G. B. de; SILVA, A. P. dos S.; SOUZA, A. G. S. de; Ribeiro, J. M. F. A importância da biodiversidade amazônica. Multidisciplinary

SALTON, J.; OLIVEIRA, P.; TOMAZI, M.; RICHETTI, A.; BALBINO, L.; FLUMIGNAM, D.; ASMUS, G. Benefícios da adoção da estratégia de integração lavoura-pecuária-floresta. In: CORDEIRO, L. A. M.; VILELA, L.; KLUTHCOUSKI, J.; MARCHÃO, R. L. (Ed). Integração lavoura-pecuária-floresta: o produtor pergunta, a Embrapa responde Brasília, DF: Embrapa. 2015. p. 35-53.

SANTANA, F. A.; NOBRE, D.N.V.; CARVALHO, J. O. P.; MATOS, J. F. R. Levantamento de mercado sobre Produtos Florestais Não-Madeireiros em. Revista em Foco, v. 2, n. 26, p. 66-75, 2017.

SANTOS, M. T.; AQUINO, M. G. C.; ROCHA, J. S.; BRAGA, B. A.; OLIVEIRA T. G. S.; MAESTRI, M. P. Biometria de sementes de andiroba (*Carapa guianensis* e *Carapa procera*) de duas diferentes áreas. In: AGUILERA, J. G.; ZUFFO, A. M. (Orgs.). Ciências agrárias [recurso eletrônico]: campo promissor em pesquisa 2. Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (Ciências Agrárias. Campo Promissor em Pesquisa; v. 2).

SANTOS, K. C. P.; ARAGÃO, D. V. A.; KATO, O. R. Atributos químicos dos solos em um Sistema Agroflorestal (SAF) no município de Tomé-Açu, Pará. Cadernos de Agroecologia. Anais do VI CLAA, X CBA e V SEMDF, v. 13, n. 1, 2018.

SANTOS, R. C. P.; SANTOS, A. G.; PEREIRA, D. S. Saberes técnico científicos para extração artesanal do óleo e aproveitamento de resíduos da Andiroba. EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Boa Vista, RR. 2020. 36 p. (Documentos 67/ EMBRAPA: Roraima).

SANTOS, K. I. P.; SILVA, R. C.; BOTELHO, A. S.; ARAÚJO, L. A.; CALDAS, I. F. R.; PINHEIRO, W. B. S. Use of *Carapa guianensis* Aubl. agro-industrial waste as an alternative for obtaining bioproducts. Comptes Rendus. Chimie, v. 28, p. 439-450, 2025.

SANTOS, R. S.; PELLICCIOTTI, A. S. Ocorrência de *Hypsipyla ferrealis* Hampson (Lepidoptera: Pyralidae) em andiroba no estado do Acre. Ciência Florestal, v. 26, p. 995-998, 2016.

SCHEMBERGUE, A.; CUNHA, D. A. da.; CARLOS, S. de M.; PIRES, M. V.; FARIA, R. M. Sistemas agroflorestais como estratégia de adaptação aos desafios das mudanças climáticas no Brasil. Economia e Sociologia Rural, v. 55, n. 1, p. 009-030, 2017.

SCUSSEL, V. M.; MANFIO, D.; SAVI, G. D.; MOECKE, E. H. S. Stereo and scanning electron microscopy of in-shell Brazil nut (*Bertholletia excelsa* H.B.K.) Part two -Surface sound nut fungi spoilage susceptibility. Journal Food Science, v. 79, n. 1, p. 2392–2403, 2014.

SMITH, L. G.; WESTAWAY, S.; MULLENDER, S.; GHALEY, B. B.; XU, Y.; LEHMANN, L. M. et al. Assessing the multidimensional elements of sustainability in European agroforestry systems. Agricultural Systems, v. 197, 2022.

SILVA, V. P.; BRITO, L. C.; MARQUES, A. M.; CAMILO, F. C.; FIGUEIREDO, M. R. Bioactive limonoids from *Carapa guianensis* seeds oil and the sustainable use of its

by-products. *Current Research in Toxicology*, v. 4, 2023.

SILVA, K. P.; LIRA-GUEDES, A. C.; JESUS-BARROS, C. R.; GUEDES, M. C. Produção e predação de sementes de andiroba em floresta de várzea estuarina na Amazônia. ELAUS 2015 II Encontro Latino-Americano de Universidades Sustentáveis; Porto Alegre/ R.S, out. 2015.

SILVA, B. A.; SCUSSEL, V. M. Characteristics and effects of the Amazonian andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.) oil against living organisms – A review. *Journal of Biotechnology and Biochemistry*, v. 6, p. 31-47, 2020.

SILVA, B. A.; SCUSSEL, V. M.; TRIBUZI, G. Anatomical study of the seed of andiroba (*Carapa guianensis*) through stereo and scanning electron microscopy. *Acta Amazonica*, v. 55, p. e55ag23162, 2025.

SOMARRIBA, E. Definición Agroforestería. In: DETLEFSEN, G.; SOMARRIBA, E. Producción de madera en sistemas agroforestales de Centroamérica. Turrialba: CATIE, 2012. p. 22-26. Seire Técnica.

SOUSA, R. L. de.; SILVA MIRANDA, A. U. da.; MARTINS CORDEIRO, Y. E.; PEREIRA, M. das G. Extração e comercialização do óleo de andiroba (*Carapa guianensis* Aublet) na comunidade da Ilha das Onças, no município de Barcarena, Pará, Brasil. *INTERAÇÕES*, v. 20, n. 3, p. 879-889, 2019.

SOUSA, S. G. A.; WANDELLI, E. V.; LOURENÇO, J. N. P.; CAMPOS, L. S. Estabelecimento de andiroba (*Carapa guianensis* Aubl. e *Carapa procera* Condolle) em sistemas agroflorestais em estágio avançado de desenvolvimento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 2009: Sociedade Brasileira de Sistemas Agroflorestais; [Brasília, DF]: EMATER-DF: Embrapa, 2009. 1 CD-ROM.

STEELE, M. Z.; SHACKLETON, C. M.; SHAANKER, R. U. GANESHAIAHB, K. N.; RADLOFFD, S. The influence of livelihood dependency, local ecological knowledge and market proximity on the ecological impacts of harvesting non-timber forest products. *Forest Policy and Economics*, v. 50, p. 285–29, 2015.

TONINI, H.; ARCO-VERDE, M. F.; SÁ, S. P. P. Dendrometria de Espécies nativas em plantios homogêneos no estado de Roraima: andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.), castanha de Brasil (*Bertholletia excelsa* Bonpl.), ipê – roxo (*Tabebuia avellanedae* Lorentz ex Griseb) e jatobá (*Hymenaea courbaril* L.). *Acta amazônica*, v. 35, n. 3, p. 353-362, 2005.

TONINI, H.; COSTA, P.; KAMISKI, P. E. estrutura, distribuição espacial e produção de sementes de andiroba (*Carapa guianensis* aubl.) no sul do estado de Roraima. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 19, n. 3, p. 247-255, 2009.

UEPA. Universidade do Estado do Pará. Herbário Marlene Freitas da Silva. Casca da andiroba vermelha. 2021. Disponível em: <https://herbariomfs.uepa.br/coleção-biocultural/casca-da-andiroba-vermelha>. acesso em: 10 out. 2023.

VALENCIA, C.; KLIMAS, C.; GUEDES, A. C. L.; WADT, L. H. O.; CASTILHO, C. V.;

COSTA, P. Comparing *Carapa guianensis* Seed Production in 3 Amazonian Forests. DePaul Discoveries, v. 8, n. 8, 2019.

VAN HUNG DO; NGUYEN LA; MULIA, R.; BERGKVIST, G; DAHLIN, A. S.; VAN THACH NGUYEN; PHAN, H. T.; ÖBORN, I. Fruit Tree-Based Agroforestry Systems for Smallholder Farmers in Northwest Vietnam - A Quantitative and Qualitative Assessment. Land, v. 9, 451, 2020.

VILLACORTA, C. D. A.; GOMES, H. S. R.; GUEDES, M. C.; TOLEDO, J. J. Size and crown shape predict reproductive maturity of *Carapa guianensis* in upland and floodplain forests in the northeastern Amazon. Biotropica, p. 1-2, 2023.

WRI BRASIL, World Resources Institute; Bioeconomia: O que é e como se aplica à Amazônia. São Paulo. 2022. disponível em: <https://www.wribrasil.org.br/noticias/bioeconomia-o-que-significa-e-como-se-aplica-amazonia>. Acesso em: 12 out. 2023.