

RAYNARA FERREIRA DA SILVA

**DESEMPENHO INICIAL DE *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss. EM PLANTIO PURO
E SOB INTEGRAÇÃO LAVOURA FLORESTA NO AGRESTE PERNAMBUCANO**

**RECIFE
Pernambuco - Brasil
Outubro – 2021**

RAYNARA FERREIRA DA SILVA

**DESEMPENHO INICIAL DE *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss. EM PLANTIO PURO
E SOB INTEGRAÇÃO LAVOURA FLORESTA NO AGRESTE PERNAMBUCANO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais da Universidade Federal Rural de Pernambuco, para obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais.

Orientador:

Prof. Dr. Rodrigo Eiji Hakamada

**RECIFE
Pernambuco - Brasil
Outubro-2021**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S586d

Silva, Raynara Ferreira da

Desempenho inicial de *Khaya senegalensis* (Ders.) A. Juss. em plantio puro e sob integração lavoura floresta no agreste pernambucano / Raynara Ferreira da Silva. - 2021.

61 f. : il.

Orientador: Rodrigo Eiji Hakamada.

Inclui referências.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Recife, 2021.

1. Florestas Plantadas. 2. Mensuração Florestal. 3. Sistemas Agroflorestais. I. Hakamada, Rodrigo Eiji, orient. II. Título

CDD 634.9

RAYNARA FERREIRA DA SILVA

**DESEMPENHO INICIAL DE *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss. EM PLANTIO PURO
E SOB INTEGRAÇÃO LAVOURA FLORESTA NO AGRESTE PERNAMBUCANO**

Aprovado em: 29/10/2021

Banca examinadora:

Profa. Dra. Rute Berger

(Universidade Federal Rural de Pernambuco– UFRPE/PPGCF)

Profa. Dra. Andressa

(Universidade Federal do Piauí – UFPI/CPCE)

Orientador:

Prof.º Dr. Rodrigo Eiji Hakamada

(Universidade Federal Rural de Pernambuco– UFRPE/PPGCF)

**RECIFE
Pernambuco - Brasil
Outubro-2021**

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho primeiramente a Deus; a minha mãe que me criou, Antônia Neta; e a minha mãe biológica, Raimunda Ferreira, por todo o amor e carinho

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, a Deus, pela minha vida, por me ajudar a alcançar meus objetivos, durante todos os meus anos de estudos e por ter permitido que eu tivesse saúde e determinação para não desanimar durante a realização deste trabalho.

Aos meus familiares, que me incentivaram nos momentos mais difíceis e compreenderam minha ausência enquanto eu me dedicava à realização deste trabalho.

Aos meus amigos(as), pelo apoio incondicional e todo apoio demonstrado durante toda a realização do meu trabalho. Principalmente para Moema Barbosa e Grazielle Nunes, que sempre me apoiaram e estiverem comigo nessa luta todo os dias e noites, que passaram por momentos difíceis comigo e nunca me deixaram na mão. Ao meu namorado, Leciandro Barros, que sempre permaneceu ao meu lado com seus conselhos e paciência. A meu amigo Nathan Castro, que foi meu apoio assim que cheguei em Recife. E, também, a Juliana Ferreira, que sempre me atendeu bem ao chegar no Programa de Pós Graduação.

Ao meu professor orientador Rodrigo Hakamada, por ter sido meu orientador e ter desempenhado tal função com dedicação e amizade, pelas correções e ensinamentos que me permitiram apresentar um melhor desempenho no meu processo de formação profissional ao longo do mestrado.

Aos professores e membros dos setores administrativos da Universidade Federal Rural de Pernambuco, por todos os conselhos, pela ajuda e pela paciência com a qual guiaram o meu aprendizado.

Ao proprietário da Fazenda e sua família por disponibilizarem a área de estudo.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais da Universidade Federal Rural de Pernambuco pela oportunidade de cursar o Mestrado e por todo o apoio.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 "This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001.

SILVA, R. F. **Desempenho inicial de *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss. em plantio puro e sob integração lavoura floresta no Agreste Pernambucano.** 2021. Orientador: Rodrigo Eiji Hakamada.

RESUMO

O gênero *Khaya* apresenta potencial para sistemas silviculturais de longo prazo, porém pouco foi estudado, notadamente na região Nordeste do Brasil. Pensando nos pequenos produtores, os sistemas agroflorestais podem servir como uma alternativa para mitigar os altos custos iniciais. O presente estudo teve como objetivo verificar o desempenho inicial, a sobrevivência e a biomassa de *Khaya senegalensis* em plantio puro e plantio integrado com banana e milho. O experimento foi realizado em Pernambuco, Brasil, em agosto de 2018. Os espaçamentos foram de 3x2 m e 3,5 x 3,5 m em sistemas puros e agroflorestais, respectivamente. A população de banana e milho foi de aproximadamente 816 e 28.000 plantas por hectare, respectivamente. Para a obtenção do volume individual, os modelos volumétricos foram ajustados por meio de análises de regressão. Como referência, foram utilizadas as equações de Schumacher Hall, Spurr e potência. A densidade básica da madeira foi obtida pelo método hidrostático e foi realizada a determinação da biomassa seca da parte aérea dos indivíduos por pesagem de peso seco e verde imaginário. Observou-se que não houve diferença significativa na taxa de sobrevivência (99,7 x 96,1%) e densidade da madeira (595 x 551 kg dm⁻³) do plantio puro em relação ao sistema agroflorestal. As equações de volume individual e biomassa foram semelhantes, exceto para biomassa foliar entre os tratamentos, e para a biomassa foliar uma equação foi ajustada para cada sistema. O volume individual foi semelhante entre os dois sistemas, mas na escala da área total houve maior crescimento e produtividade do povoamento puro, com incremento médio anual em 30 meses de 3,07 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, 129% superior ao obtido no sistema agroflorestal (1,34 m³ ha⁻¹ ano⁻¹). No entanto, a ILF adicionou 20 e 8 t ha⁻¹ de biomassa de banana e milho verde, respectivamente. A biomassa acumulada da parte aérea de *K. senegalensis* aos 30 meses foi 144% maior no povoamento puro (7,11 x 2,92 t ha⁻¹), com destaque para a biomassa foliar, que foi 228% maior em relação ao sistema agroflorestal, resultando em um maior aparato fotossintético. A ausência de diferença de crescimento individual nos dois sistemas indica que os sistemas agroflorestais podem ser usados para mitigar os custos de implantação florestal, uma vez que este tipo de cultura é manejada no sistema de alto fuste com desbaste em ciclos longos (>20 anos) e ao final da rotação restarão apenas 200-400 indivíduos por hectare. A baixa produtividade do mogno africano em uma região com condições edafoclimáticas adequadas ao seu crescimento e com irrigação permanente revelam que é necessário cautela na implantação da cultura em novas áreas, principalmente pelo elevado investimento e desconhecimento em relação ao comportamento da cultura no longo prazo.

Palavras-chave: Florestas Plantadas; Mensuração Florestal; Sistemas Agroflorestais.

SILVA, R. F. **Initial performance of *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss. in pure planting and under crop integration in Agreste Pernambucano.** Advisor: Rodrigo Eiji Hakamada.

ABSTRACT

The genus *Khaya* has potential for long-term silvicultural systems, however little has been studied, notably in the Northeast region of Brazil. Thinking of small producers, agroforestry systems can serve as an alternative to mitigate the high initial costs. The present study aimed to verify the initial growth, survival and biomass of *Khaya senegalensis* in pure plantation and integrated plantation with banana and corn. The experiment was carried out in Pernambuco, Brazil. Spacing were of 3x2 m and 3.5 x 3.5m in pure and agroforestry systems, respectively. The banana and corn population were about 816 and 28,000 plants per hectare, respectively. To obtain the individual volume, volumetric models were adjusted through regression analysis. As reference, the equations of Schumacher Hall, Spurr and Power were used. The wood density was obtained by the hydrostatic method and the determination of the dry biomass of the aerial part of the individuals was carried out. It was observed that there was no significative difference in the survival rate (99.7 x 96.1%) and wood density (595 x 551 kg dm⁻³) of the pure plantation in relation to the agroforestry system. Equations of individual volume and biomass were similar among treatments, but for the leaf biomass one equation for each system was adjusted. Individual growth was similar between the two systems, but on the scale of the total area there was a greater growth and productivity for the pure stand, with an mean annual increment at 30 months of 3.07 m³ ha⁻¹ year⁻¹, 129% higher than the obtained in the agroforestry system (1.34 m³ ha⁻¹ year⁻¹). However, AFS added 20 and 8 t ha⁻¹ of banana and corn. The biomass accumulated at 30 months of the aerial part was 144% higher in the pure stand (7.11 x 2.92 t ha⁻¹), with emphasis on the leaf biomass, which was 228% higher in relation to the agroforestry system due to its greater photosynthetic apparatus. The stands of the genus *Khaya* are generally cultivated in the high forest system with thinning in long rotations (>15 years) and the main interest is in the final volume of the remaining individuals. The absence of individual growth difference in the two systems indicates that the agroforestry systems can be used to mitigate forestry implantation costs.

Keywords: Silviculture of planted forests; Agroforestry Systems, Forest Mensuration.

SÚMARIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
2. REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1 Demanda para a expansão da atividade florestal no agreste pernambucano.....	14
2.2 Caracterização da espécie <i>Khaya senegalensis</i> (Desr.) A. Juss.....	15
2.3 Sistemas de Integração Lavoura Pecuária Floresta e suas potencialidades.....	16
2.4 Importância do uso de indivíduos de <i>Musa</i> sp. e <i>Zea mays</i> L. em Sistemas de Integração Lavoura Floresta	18
2.5 Importância das florestas plantadas	20
2.6. Variáveis dendrométricas.....	21
2.6.1 Volume e Incremento Médio Anual.....	21
2.6.2 Biomassa florestal.....	22
2.6.3 Uniformidade do povoamento.....	23
2.6.4 Cubagem rigorosa.....	24
2.7 Estimativa da biomassa	26
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	28
3.1 Características gerais da área de estudo.....	28
3.2 Preparo da área	29
3.3 Procedimento de Amostragem	32
3.4 Análise de sobrevivência e medição de variáveis dendrométricas.....	33
3.5 Estimativa do volume individual	34
3.6 Estimativa da biomassa da parte aérea.....	36
3.7 Densidade básica da madeira.....	39
3.8 Análise dos dados.....	40
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
4.1 Variáveis dendrométricas na escala individual	41
4.2 Equações de Volume e Biomassa	44
4.3 Variáveis dendrométricas na escala do povoamento.....	46
5. CONCLUSÕES	51
6. REFERÊNCIAS	52

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** - Localização geográfica da fazenda São Francisco e suas respectivas áreas de estudo em Uruçu-Mirim, distrito de Gravatá-PE. a) – Plantio integrado; b) – Mogno. 28
- Figura 2** - Dados climáticos (temperatura e precipitação) do período estudado para a região de Gravatá obtidos através do site Nasa Power..... 29
- Figura 3** - Ilustração da alocação das parcelas em campo, nos plantios puro e integrado com banana e milho de *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss na Fazenda São Francisco, situado em Uruçu Mirim, distrito de Gravatá, PE..... 33
- Figura 4** - Etapas do processo da cubagem rigorosa segundo método de Smallian para a *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss. A - Seleção da árvore pertencente às classes estabelecidas; B – Demarcação do local do corte da árvore; C – Mensuração da altura dos indivíduos; D – Mensuração do fuste nas diferentes secções..... 35
- Figura 5** - Coleta de material em campo para a quantificação da biomassa da folha, galhos, lenho e casca de *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss. A – Armazenamento de folhas e galhos em sacos plásticos; B – Corte das secções da árvore; C – Pesagem do material úmido em campo; D – Armazenamento em sacos plásticos do material lenhoso..... 37
- Figura 6** - Etapas do processo de pesagem e secagem do material de *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss (discos, folhas e galhos) em laboratório. A – Separação da casca do material lenhoso; B – Alocação do material dentro da estufa; C – Pesagem dos discos de madeira; D – Pesagem dos galhos dos indivíduos..... 38
- Figura 7** - Foto ilustrativa de dispositivo de imersão em água dos discos de madeira para determinação da densidade..... 40
- Figura 8** - Distribuições de frequências para as variáveis dendrométricas altura (h), diâmetro altura do peito (DAP), área seccional (g), volume individual (v), em plantio puro (esquerda, em vermelho) e integrado com milho e banana (direita, em azul) de *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss. em Uruçu Mirim distrito de Gravatá – PE. 42
- Figura 9** - Equações de volume individual e de biomassa dos diferentes componentes da parte aérea de *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss, aos 30 meses em Gravatá, Pernambuco, em função do diâmetro à altura do peito (DAP, cm) para evidenciar a possibilidade de uso apenas da variável DAP na estimativa dos componentes. 45
- Figura 10** - Comparação entre os plantios puro e agroflorestal (SAF) aos 30 meses de *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss das variáveis altura (a), diâmetro à altura do peito – DAP (b` sobrevivência (c), área basal (d), volume individual (e), volume total (f), Incremento Médi

Anual – IMA (g), PV50 (h) e densidade da madeira (i). n.s.: não significativo e *** significativo a 0,1% na análise de variância.....47

Figura 11 - Acúmulo de biomassa nos diferentes compartimentos da parte aérea no povoamento puro (a) e sob integração lavoura-floresta; (b) de *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss.48

Figura 12 - Biomassa da parte aérea de *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss cultivada em plantio puro e integrado com milho e banana nos 3 primeiros anos de cultivo. As barras representam o erro padrão.49

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** - Caracterização dos atributos químicos do solo na camada de 0,00-10,0 e 10,0-20,0 cm da área do plantio puro de *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss e plantio integrado com banana e milho na Fazenda São Francisco, situado em Uruçu Mirim, distrito de Gravatá, PE. 31
- Tabela 2** - Caracterização dos atributos físicos do solo na camada de 0,00-10,0 e 10,0-20,0 cm da área de plantio puro de *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss e plantio integrado com banana e milho na Fazenda São Francisco, situado em Uruçu Mirim, distrito de Gravatá, PE. 32
- Tabela 3** - Classes diamétricas na qual os indivíduos foram distribuídos, frequência e porcentagem de indivíduos para o plantio de *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss puro e plantio integrado com milho e banana no Agreste pernambucano, 2021..... 34
- Tabela 4** - Modelos volumétricos utilizados para estimar o volume individual dos povoamentos de *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss..... 35
- Tabela 5** - Estatística descritiva na escala individual para as variáveis dendrométricas altura (H), diâmetro altura do peito (DAP), área seccional (m²) e volume individual (m³) em plantio puro e integrado de *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss., em Uruçu Mirim distrito de Gravatá – PE..... 41
- Tabela 6** - Equações de volume individual e de biomassa dos diferentes componentes da parte aérea de *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss aos 30 meses em Gravatá, Pernambuco, de acordo com o modelo de Schumacher-Hall (log): $\ln(\text{biomassa ou volume, kg ou m}^3) = b_0 + b_1 \cdot \ln(\text{DAP, cm}) + b_2 \cdot \ln(\text{altura, m})$, modelo de Spurr: $(\text{biomassa ou volume, kg ou m}^3) = b_0 + b_1 \cdot (\text{DAP}^2 \cdot \text{H, cm e m, respectivamente})$ e modelo potência em função do DAP $(\text{biomassa ou volume, kg ou m}^3) = b_0 \cdot \text{DAP}^{b_1}$ (DAP, cm). Todos os modelos obtiveram ajustes com $p < 0,05$ 44

1. INTRODUÇÃO

O setor de florestas plantadas se encontra em expansão no Brasil e no mundo, principalmente pela crescente demanda por produtos florestais (FAO, 2018). Investir em florestas plantadas, quando implantadas e manejadas adequadamente, pode trazer diversos benefícios econômicos, fazendo com que os produtores rurais invistam nesse tipo de cultivo (RIBEIRO; FERRAZ; SCOLFORO, 2017). Estima-se que, em 2018, existiam cerca de 7,83 milhões de hectares de árvores plantadas no Brasil, e, deste total, 29% era ocupado por produtores independentes (IBÁ, 2019).

Existe uma demanda crescente por produtos florestais, com estimativa de consumo de 13 bilhões de metros cúbicos de madeira até o ano de 2050, o triplo do volume atual, acarretando numa maior pressão sobre as florestas nativas (WWF, 2015). Estudos da Agência Brasil apontam que, em 2020, o estudo identificou registro de produção primária florestal em 4.868 municípios, que, juntos, somam R\$ 23,6 bilhões em valor de produção, o que representou crescimento de 17,9% em relação a 2019, com consumo aproximado de 270 milhões de m³ de madeira, sendo 35 milhões de ésteres consumidos na região Nordeste (RIEGELHAUPT; PAREYN, 2010).

Neste contexto de expansão, o gênero *Khaya*, pertencente à família Meliaceae, compõe um grupo de espécies com elevado potencial madeireiro e tem despertado grande interesse dos produtores, sendo que diversas espécies são comercializadas no mercado nacional e internacional, empregadas na fabricação de móveis de luxo, adornos, entalhes, instrumentos musicais, faqueados, laminados, construção civil e naval, e em revestimentos internos e decorativos em diversas regiões do mundo (REIS, OLIVEIRA; SANTOS, 2019).

Dentre as espécies do gênero *Khaya*, pode-se destacar a *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss., popularmente conhecida por "mogno africano". Muitas árvores dessa espécie possuem falta de retidão do tronco, apresentando os fustes curtos e diâmetro baixo, porém, as árvores que se destacam podem render produtos de alto valor, como folheados, placas de alto grau e móveis de luxo (NIKLES et al., 2012). O gênero tem apresentado um bom desempenho em diversos sistemas de integração conduzidos no Brasil (SALES et al., 2017), dentre esses sistemas, tem-se o sistema de integração lavoura-floresta (ILF) ou silviagrícola, que associa os componentes florestal e agrícola pela integração de espécies arbóreas com cultivos agrícolas, sejam elas anuais ou perenes (BALBINO et al., 2011).

O crescimento do mogno africano é favorecido em regiões de clima tropical úmido ou subtropical e solos de terra firme, na qual sua implantação depende principalmente das

condições climáticas da região e da distribuição de precipitação pluviométrica (CASAROLI et al., 2018). Entretanto, para algumas regiões, como o Nordeste, ainda são escassas as informações silviculturais básicas referentes às espécies florestais com potencial econômico. Assim, pesquisas voltadas à geração de informações silviculturais básicas e ao desenvolvimento de técnicas de manejo florestal, aliadas ao incentivo ao cultivo dessas espécies exóticas, preferencialmente aquelas com maior potencial para atender o mercado, são de grande importância para o setor florestal (REIS, OLIVEIRA; SANTOS, 2019; KLEIN et al., 2016).

Neste cenário, surge a possibilidade de uso dos Sistemas de Integração Lavoura Pecuária Floresta Agroflorestais (ILPF), marcados por representarem os chamados sistemas agroflorestais, sobretudo pela maior diversidade de espécies e melhoria de ciclagem nutricional (BOINOT et al., 2019). De acordo com Bernardino e Garcia (2010), ainda são escassas as informações científicas a respeito das integrações, o que pode ser resultante da complexidade e da longa duração dos sistemas agroflorestais, aliadas ao recente início das pesquisas e ao número relativamente pequeno de técnicos trabalhando com estes sistemas em diferentes regiões do País. Embora os consórcios com outras culturas possam apresentar benefícios, é necessário compreender a interação/relação que acontece entre os cultivos agrícolas e as árvores presentes nos sistemas e se há comprometimento da produtividade e competição entre as espécies (SALGADO, 2004).

O sucesso de sistemas de integração lavoura-floresta envolvendo espécies madeireiras de alto valor agregado é importante realizar mais trabalhos mensuram e comparam o desempenho silvicultural das espécies crescendo sob sistema de monocultivo e consórcio, onde supõe-se que uma menor densidade de árvores para a produção agrícola não trará impacto negativo a longo prazo, apesar de poder resultar em um menor crescimento inicial do povoamento (SCHEMBERGUE et al., 2017).

No planejamento de florestas plantadas, principalmente em regiões em que não há muitas informações disponíveis, as avaliações dendrométricas periódicas para o ajuste de equações de volume e biomassa são fundamentais para a estimativa do crescimento das plantas (MELO LIMA; ARAÚJO; AMARO, 2020). Tais estimativas indicarão a adaptação daquela cultura às condições edafoclimáticas regionais e a possibilidade de expansão da cultura no longo prazo (VERES; WATZLAWICK; SILVA, 2019). O ajuste de equações de biomassa dos componentes da parte aérea também pode indicar aspectos ecofisiológicos, como a taxa de exportação de nutrientes (COUTINHO et al., 2017) ou a alocação de carbono nos diferentes componentes da planta, de acordo com os tratamentos silviculturais aplicados (MEDEIROS, 2018).

O presente estudo tem como objetivo verificar se o crescimento inicial, sobrevivência, uniformidade e a produção de biomassa da parte aérea da *K. senegalensis* sofrem influência conforme o sistema estabelecido, seja em plantio puro ou em integração lavoura floresta (ILF) com banana e milho, bem como ajustar modelos matemáticos para estimativa de, volume e biomassa dos diferentes componentes da parte aérea das árvores. Pretende-se, por meio deste, responder às seguintes hipóteses: (I) a sobrevivência, crescimento, uniformidade e produção de biomassa da parte aérea da *K. senegalensis* são influenciados pelo sistema adotado, sendo que haverá um desempenho silvicultural superior das plantas crescendo no plantio puro quando comparadas ao ILF, e (II) as equações de volume e biomassa não diferem entre os tratamentos, podendo ser utilizadas em pesquisas em plantios puros e sob integração.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Demanda para a expansão da atividade florestal no agreste pernambucano

A região Agreste é uma mesorregião do Nordeste, considerada uma área de transição entre a Zona da Mata (litoral nordestino) e o Sertão. Encontra-se, no Agreste, fitofisionomias caracterizadas tanto como Mata Atlântica como Caatinga. O Agreste pernambucano possui 15.904,79 km² de extensão, relevo levemente ondulado a ondulado, solos predominantemente planossolos medianamente profundos, drenado e ácido com textura argilosa (COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS, 2005). Entretanto, conforme pesquisa da CPRM (2005), em regiões que possuem elevação, existem também solos litólicos, rasos e argilosos.

O Agreste pernambucano é formado por seis mesorregiões e se caracteriza por uma economia diversificada que proporcionou uma modificação na vegetação original, devido à pecuária de leite e de corte, como também o cultivo de lavouras, como feijão, milho, mandioca, promovendo diversas interferências no uso e cobertura do solo (MONTEIRO et al., 2007; PEREIRA et al., 2002).

O polo moveleiro representa uma das atividades econômicas mais reconhecidas na região Agreste de Pernambuco (SILVA, 2017). Ainda de acordo com a autora, a cidade de Gravatá representa um cenário cultural gerido pelo seu polo moveleiro, uma vez que os móveis de madeira em estilo rústico produzidos nessa localidade possuem uma relevância cultural altíssima, percorrendo gerações e ligam o discurso visual apresentado por esta prática a diversas possibilidades de ideias e representações, que moldam a realidade produtiva popularmente conhecida dos artesãos de Gravatá, tornando o mercado moveleiro atrativo, que gera renda para os produtores rurais desta região. Assim, faz-se necessária a realização de pesquisas sobre

implantação de povoamentos florestais com espécies de potencial madeireiro, visando suprir a demanda da região, uma vez que a maioria da madeira para a movelaria é oriunda da floresta amazônica (MOREIRA; SIMIONI; OLIVEIRA, 2017).

Estudos em regiões de menor cobertura de florestas plantadas, como aquelas realizadas no sertão pernambucano, podem gerar informações importantes de espécies não tradicionalmente cultivadas na região, que poderão subsidiar o fortalecimento de políticas públicas florestais e minimizar o uso intensivo dos recursos florestais naturais (SILVA, 2016; ABREU et al., 2018). Dessa forma, é altamente relevante realizar pesquisas com plantios de espécies que apresentam elevado potencial de crescimento para o suprimento de madeira. Portanto, o cultivo da *K. senegalensis* pode servir como alternativa para produtores rurais na busca pela diversificação da produção e renda, como também para consumidores e transportadores de produtos florestais que, com isso, garantem um abastecimento constante e legalizado.

2.2 Caracterização da espécie *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss

O gênero *Khaya* é nativo da África, pertence à família Meliaceae, conhecida por possuir diversas espécies com madeira propensa à utilização na movelaria (IUCN, 2018). As espécies *Khaya ivorensis* A. Chev. e *K. senegalensis*, comumente conhecidas como mogno africano, são árvores de grande porte e possuem madeira que apresentam características desejáveis para o mercado de movelaria. Possuem valor comercial atrativo e sua madeira é utilizada na construção naval, pisos, fabricação de móveis, decoração de ambientes internos e externos e em sofisticadas peças ornamentais (ARNOLD, 2004).

O crescimento da espécie é favorecido em solos bem estruturados, mas suporta bem as condições em que os teores de argila podem atingir até 68% e momentâneos alagamentos, necessitando de radiação solar, água e nutrientes. A partir dos 16 anos, o mogno pode apresentar o diâmetro, à altura do peito (DAP), de cerca de 58 cm. Para a obtenção de madeira serrada, quando se trata de mogno, entre 16 e 20 anos, as árvores podem apresentar as dimensões adequadas (PINHEIRO et al., 2011). De acordo com França et al. (2015), a madeira de *K. senegalensis* possui massa específica básica média ($0,59 \text{ g cm}^{-3}$), sendo indicada como promissora para utilização na produção de assoalho, construção leve e embarcações, entre outros. Dentre as suas diversas utilizações, o mogno é difundido em diversos âmbitos, como: carpintaria, marcenaria, móveis, construção naval e lâminas decorativas, construção, pavimentação, brinquedos, fabricação de dormentes e madeira para celulose (NIKIEMA; PASTERNAK, 2008).

No Brasil, os cultivos de mogno-africano (*K. anthotheca*, *K. grandifoliola*, *K. ivorensis* e *K. senegalensis*) têm crescido de forma significativa nos últimos anos (REIS; OLIVEIRA; SANTOS, 2019). Os autores estimam que, a área plantada em território brasileiro já tenha ultrapassado 37 mil hectares em 2018, o que torna o Brasil, muito provavelmente, o maior plantador desse gênero, seguido da Austrália, com 14 mil hectares de *K. senegalensis*, havendo plantios dessa espécie em várias regiões, em especial, em áreas com solos arenosos e propensos ao estresse hídrico.

2.3 Sistemas de Integração Lavoura Pecuária Floresta e suas potencialidades

Os Sistemas de Integração Lavoura Pecuária Floresta (ILPF) e os Sistemas Agroflorestais (SAFs) são caracterizados pela integração entre culturas agrícolas, árvores e/ou animais, os quais se destacam por possuírem características mais próximas às condições de ecossistemas naturais, quando comparados aos plantios puros (SEGHESE, 2006; TREVISAN; SILVA; RODRIGUES, 2010). Os ILPFs representam a marca da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, a EMBRAPA, mas no presente trabalho, os ILPFs serão considerados sinônimos de sistemas agroflorestais.

Os ILPFs surgem como alternativa de grande potencial, principalmente para os pequenos e médios produtores, pois os produtores podem elevar e diversificar a renda, bem como acrescentar benefícios ambientais nas atividades produtivas de sua propriedade (FREITAS et al., 2013). A introdução de espécies florestais, além de aperfeiçoar a forma de ocupação da terra e reduzir o impacto causado por práticas agrícolas, promove a conservação da água, do solo e favorece a ciclagem dos nutrientes (LIMA et al., 2007; BERNARDINO; GARCIA, 2009).

De acordo com Nair (1993), todos os sistemas agroflorestais possuem três atributos, sendo:

1. **Produtividade:** a maioria dos SAFs busca manter ou aumentar a produção (de mercadorias almeçadas), bem como a produtividade (da terra). Existem diversas formas em que a agrossilvicultura pode atuar com a melhoria da produtividade, são elas: aumento da produção de produtos de árvores, melhores rendimentos das culturas associadas, redução dos insumos do sistema de cultivo e aumento da eficiência da mão-de-obra.
2. **Sustentabilidade:** ambientalmente, a agrossilvicultura pode alcançar e manter indefinidas metas de conservação e fertilidade, ao conservar o potencial de produção da base de recursos, principalmente pelos efeitos benéficos das plantas perenes lenhosas nos solos.

3. Adotabilidade: pela razão da agrossilvicultura ser uma palavra relativamente nova dada ao conjunto de práticas antigas, significa que, em alguns casos, a agrossilvicultura já foi aceita pela comunidade agrícola. Entretanto, a provocação é que as tecnologias agroflorestais desenvolvidas ou novas, que poderão ser realizadas em novas áreas, também devem estar de acordo com as práticas agrícolas locais.

Esse sistema dispõe de variadas características, dado a amplitude de práticas que eles cobrem (por exemplo os sistemas silvipastoris), há uma grande diversidade de espécies que podem ser consorciadas com plantas herbáceas, arbustos e árvores em diversos arranjos espaciais (BOINOT et al., 2019).

Segundo Balbino et al. (2011), os sistemas de integração podem ser classificados em quatro modalidades distintas, sendo:

- ✓ Integração Lavoura-Pecuária (ILP) ou Sistema Agropastoril: sistema de produção que integra os componentes agrícola e pecuário em rotação, plantio integrado ou sucessão, na mesma área e no mesmo ano agrícola ou por múltiplos anos;
- ✓ Integração Pecuária-Floresta (IPF) ou Sistema Silvipastoril: sistema de produção que integra os componentes pecuário (pastagem e animal) e florestal, em consórcio;
- ✓ A Integração Lavoura-Floresta (ILF) ou Silviagrícola: sistema de produção que integra os componentes floresta e lavoura, pela integração de espécies arbóreas com cultivos agrícolas (anuais ou perenes). O componente lavoura pode ser utilizado na fase inicial de implantação do componente florestal ou em ciclos durante o desenvolvimento do sistema; e
- ✓ Integração lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) ou Sistema Agrossilvipastoril: sistema de produção que integra os componentes agrícola, pecuário e florestal em rotação, plantio integrado ou sucessão, na mesma área.

SENAR (2017) descreveu que o sistema silviagrícola pode ser dividido em sistema silviagrícola de baixa complexidade biológica, este composto por quebra-ventos, Taungya (cultivos anuais consorciados temporariamente com árvores durante os primeiros anos de implantação), cultivos em aleias (fileiras) e cercas vivas; e sistema silviagrícola de média e alta complexidade biológica, composto por quintais agroflorestais e sistemas multiestratificados e sucessionais.

As produtividades de lavouras integradas com árvores (silviagrícola) podem aumentar ou diminuir dependendo do arranjo espacial (REYNOLDS et al., 2007), da mitigação da competição por água (MILLER; PALLARDY, 2001), da dimensão e manejo das árvores no tempo (DEVKOTA et al., 2009), da espécie agrícola empregada, entre outros fatores.

O efeito de interação entre plantas pode ser positivo (favorecimento), neutro ou negativo (competição) e depende de diversos fatores ecológicos (CALLAWAY; WALKER, 1997; GILLESPIE et al., 2000), as interações entre as árvores e a lavoura associadas em um sistema silviagrícola podem oscilar de favorecimento para competição, e vice-versa, com estes estágios interativos coexistindo no tempo e espaço (ANDERSON; SINCLAIR, 1993; ONG; HUXLEY, 1996; GEA-IZQUIERDO et al., 2009).

2.4 Importância do uso de indivíduos de *Musa* sp. e *Zea mays* L. em Sistemas de Integração Lavoura Floresta

Nos ILFs, as culturas anuais, como a banana (*Musa* sp), arroz (*Oryza* spp.), milho (*Zea mays* L.), feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) e soja, ou bianuais e perenes, como a mandioca (*Manihot esculenta* Crantz.) e a cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.), são implantadas, normalmente, durante o período de desenvolvimento inicial da espécie arbórea. Tais espécies desempenham um importante papel ao permitirem o retorno mais rápido do capital investido na implantação, ou parte dele, além de viabilizar a recuperação das características químicas do solo através da correção da fertilidade por meio de calagem e adubações, beneficiando, principalmente, a cultura florestal a ser implantada sob forma de integração (LIMA et al., 2018).

A cultura da banana no Brasil, ocupa o segundo lugar em volume de frutas produzidas, sendo superada apenas pela laranja. De modo geral, a espécie é cultivada em pequenas propriedades, sendo de grande importância para o estabelecimento do homem no meio rural e para a geração de emprego, especialmente para as camadas da população com menor grau de escolaridade, que dificilmente encontrariam ocupação em outras atividades (GASPAROTTO; PEREIRA, 2010). Com isso, as condições climáticas diversas, encontradas no território brasileiro, permitem que a banana seja cultivada de Norte a Sul o ano todo. Segundo o IBGE, a estimativa da produção nacional em 2021 é de 7 milhões de toneladas em uma área de 465,9 mil hectares (CNA/SENAR, 2021).

A banana é uma das frutas mais importantes do mundo, tanto no que se refere à produção quanto à comercialização. Para muitos países, além de ser um alimento complementar da dieta, apresenta grande relevância social e econômica, servindo como fonte de renda para muitas famílias de agricultores, gerando trabalhos, no campo e na cidade, e contribuindo para o desenvolvimento das regiões envolvidas em sua produção. Em outros países, a banana é um produto de exportação responsável por uma parte muito significativa dos ingressos relativos à exportação agrícola (FIORAVANÇO, 2003).

A bananeira é uma das mais importantes espécies frutíferas cultivadas em Pernambuco, trata-se de uma atividade econômica de grande rentabilidade e baixos custos de produção, por meio da utilização do processo de climatização, que proporciona maior durabilidade ao produto (CAVALCANTI et al., 2002). O estado, apesar de ser um tradicional produtor de banana e de apresentar grandes áreas sob cultivo irrigado na região do Submédio do Rio São Francisco, vem perdendo, ao longo dos anos posições para outros grandes produtores, como os estados do Pará, Minas Gerais e Santa Catarina (SILVA JÚNIOR et al., 2010). Segundo esse autor, a maior parte da produção é para o consumo *in natura* e abastecimento do mercado local e outros estados do Nordeste. Existe uma pequena participação na indústria de doces e em segmentos como produção de licor e passas, além do uso da bananeira para confecção de artesanato. A comercialização da banana da Zona da Mata se faz no mercado local do grande Recife (Ceasa, cadeias de supermercados e feiras).

Em relação à cultura do milho no Brasil, a expansão da área plantada representa apenas 10% do aumento total da produção, impulsionado principalmente pelo crescimento da área cultivada na América Latina, que, segundo estudos, estima-se que aumentará cerca de 6,6% até 2026 (FAO, 2017). Estima-se, mesmo com embarques ainda lentos, uma demanda no cenário externo, apontando para uma previsão de 35 milhões de toneladas exportadas na safra atual de 2020/2021 (CONAB, 2021).

De acordo com Bueno (2002), a cultura do milho tem grande importância na agricultura brasileira, representando, na unidade produtiva, desde um cultivo de subsistência até um perfil de produção direcionada exclusivamente ao mercado externo, existindo também a importância nos assentamentos rurais e sua participação em diferentes formas de organização social da produção, inclusive na agricultura familiar. Sua importância econômica está relacionada às várias formas de utilização, desde a alimentação animal até a indústria de alta tecnologia. Seu uso em grãos na alimentação animal representa a maior parte do consumo, sendo que, no Brasil, varia entre 70% e 90% da produção total (CRUZ et al., 2011). Embora o percentual destinado à alimentação humana não seja tão grande em relação a sua produção, é um cereal de grande importância, principalmente para a população de baixa renda, possuindo assim, uma grande importância social, principalmente porque, no Brasil, grande parte de seus produtores não são tecnificados, não possuem grandes extensões de terras e dependem de sua produção para se subsidiar (CRUZ et al., 2011).

Dentre as diversas culturas anuais, o milho tem sido a espécie mais utilizada no em plantios integrados com cultivos arbóreos (MACEDO; VALE; VENTURIN, 2010) e com forrageiras, para formação de pastagens, principalmente por sua tradição de cultivo,

disponibilidade de genótipos comerciais adaptados às diferentes regiões ecológicas do Brasil e inúmeras utilidades na propriedade rural (CASTRO et al., 2008). Em um estudo de avaliação de desempenho do mogno africano em plantio integrado com milho, Azevedo et al. (2011) atestaram que a modalidade empregada foi adequada ao desenvolvimento vegetativo das espécies, em especial na fase inicial de plantio. Estes mesmos autores afirmaram que a recomendação da adoção deste sistema depende de um estudo de viabilidade econômica, uma vez que os sistemas integrados têm ganhado força e expressão nos últimos anos.

2.5 Importância das florestas plantadas

A utilização da madeira sempre esteve presente no desenvolvimento da humanidade, seja para fins de construção civil e estruturais, ou para o aproveitamento do seu potencial energético (BRITO, 2007). Para o autor, a madeira foi a primeira fonte de energia da humanidade e possui seus produtos utilizados em diversos setores, como siderúrgicas, de extração e manufatura de minérios, indústrias têxteis e movelaria. Também pode ser utilizada como fonte energética de atividades de secagem, cozimentos, fermentações, produção de eletricidade etc.

Ao longo do tempo, houve um crescente suprimento de matéria prima pelas florestas plantadas em substituição a da extração de povoamentos nativos. Conforme os dados da Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura (PEVS) do IBGE (2019), houve um aumento da lenha da silvicultura em relação ao total consumido, que passou de 20% em 1990 para 70% em 2013. Vale ressaltar que a exploração inadequada dos produtos florestais pode gerar problemas ambientais e, conseqüentemente, econômicos para a população.

Dessa forma, faz-se necessário alternativas como a implantação de espécies potenciais em áreas modificadas, pois podem contribuir significativamente para o aumento da produção madeireira de alto valor econômico. Portanto, a reincorporação dessas áreas alteradas ao processo produtivo pode ser uma solução viável e eficaz para diminuir a pressão sobre as florestas nativas, além de ar e água limpos, sustentar meios de subsistência, conservar a biodiversidade e regular o clima (BRIENZA JÚNIOR et al., 2008; FAO, 2018).

Os custos em florestas plantadas possuem algumas características diferentes das culturas agrícolas em geral, como a ocorrência da maior parte dos investimentos das operações florestais desenvolvidas até a idade de corte se concentrarem na implantação do povoamento, e o retorno acontecer anos após a implantação. Essas características podem reduzir a atratividade destes investimentos para produtores não habituados à dinâmica da cadeia produtiva florestal (MOREIRA; SIMIONI; OLIVEIRA, 2017). Alguns fatores importantes, como taxa de juros,

custo de arrendamento da terra e distância do mercado consumidor, afetam significativamente a rentabilidade do cultivo florestal, que devem ser levados em consideração antes da decisão de implantar a floresta.

A floresta pode ser manejada com diferentes finalidades, o que permite ao produtor alcançar diferentes mercados de produtos florestais, sendo uma alternativa viável a adoção de sistemas integrados, uma vez que permitirá ao produtor uma flexibilidade para a colheita da floresta, antecedendo a renda com a colheita das espécies agrícolas, garantindo um retorno financeiro para suprir com os gastos investidos na cultura florestal.

2.6. Variáveis dendrométricas

2.6.1 Volume e Incremento Médio Anual

Visando a otimização da produção florestal, bem como na busca em atender às necessidades do mercado consumidor, o desenvolvimento de estudos como este é cada vez mais importante, focando em quantificar e prever os estoques em florestas, com o intuito de facilitar as tomadas de decisões (SILVA et al., 2019). Para tal, coletar informações sobre diâmetro a 1,30 metros do solo (DAP), alturas, área basal e volume dos indivíduos facilita na predição de estimativas dos estoques, podendo fornecer informações sobre o presente e futuro da produção madeireira de uma floresta (JESUS et al., 2017).

Dentre as variáveis dendrométricas estudadas em plantios florestais, o volume de madeira é considerado uma das principais no sucesso do empreendimento florestal (SOUZA; SOARES, 2013). Também existem outras variáveis que podem expressar a produtividade de uma floresta, são elas: Incremento Médio Anual (IMA) e o Incremento Corrente Anual (ICA). A rotação de máxima produção volumétrica é o ponto de cruzamento entre as curvas de incremento médio anual (IMA – obtido por meio da divisão do valor de produção pela idade do plantio) e de incremento corrente anual (ICA - obtido por meio da subtração da produção atual pela produção passada) (SOUZA; SOARES, 2013). Dessa forma, é de fundamental importância o conhecimento do crescimento e da produção para o manejo florestal.

Trabalhando na comparação entre as modalidades de plantio, Silva et al. (2011) verificaram que o IMA em DAP de um povoamento de mogno africano com 2 anos de idade teve média de 3,43 cm, dispostos em sistema agrossilvipastoril. Ao comparar o ICA em plantio de mogno africano, entre semestres e entre anos, Alvarenga (2015) observou uma mudança na distribuição dos incrementos ao longo do tempo, em que, no primeiro ano de medição, a maior taxa de incremento se situava no segundo semestre, época de maior taxa de precipitação e,

consequentemente, maior crescimento dos indivíduos. O mesmo concluiu que o mogno africano apresentou sensibilidade ao estresse hídrico, decorrente da má distribuição de chuvas, tendendo a um crescimento em diâmetro modificado.

Em relação a cultivos florestais no Pernambuco, Lundgren, Silva e Ferreira (2017), ao estudar 15 clones de eucalipto em uma área no semiárido pernambucano, reportaram um IMA de 69,22 m³/ha.

2.6.2 Biomassa florestal

O consumo de energia no mundo é crescente (CARON et al., 2015), com o passar das décadas, este consumo foi proveniente de fontes energéticas não renováveis, o que provocou vários questionamentos em relação às consequências sentidas pelo uso dessas fontes no equilíbrio ambiental e econômico (ELOY et al., 2014). Assim, a procura por fontes de energia renováveis é crescente (OLIVEIRA et al., 2006; CANTO et al., 2011; CARNEIRO et al., 2014), surgindo a necessidade de usar energia proveniente da biomassa florestal, por ser considerada limpa e renovável.

Por ser oriunda de material vegetal, a biomassa é considerada uma fonte de energia renovável e alternativa (ELOY, 2015). De acordo com Nogueira e Lora (2003), a biomassa é proveniente da fotossíntese, na qual contém energia química originada da transformação energética da radiação solar. Fontes energéticas provindas da biomassa florestal têm ganhado destaque em vários países devido ao elevado potencial de produção pelo setor florestal (ELOY, 2015).

Biomassa é conceituada como a quantidade expressa em massa do material vegetal por unidade de uma floresta (MARTINELLI et al., 1994; SILVEIRA et al., 2010). Sendo todo material orgânico produzido por povoamentos nativos ou plantados, derivados da manufatura industrial de base florestal e, ainda, resíduos urbanos provenientes do manejo de produtos florestais (BRAND, 2009).

A quantificação da biomassa florestal, conforme Salati (1994), pode ser realizada através de medidas diretas e indiretas. O método direto consiste no corte e na pesagem de todas as partes da árvore (raízes, fuste, galhos e folhas) dos indivíduos de uma determinada área. Embora este método apresente resultados mais robustos, o tempo, os custos, o tamanho da área e a variedade de espécies acabam dificultando sua prática. Os métodos indiretos, que se baseiam em ajustes de equações matemáticas (análises de regressão), tornam-se uma alternativa confiável para a estimativa da biomassa, pois se faz a correlação com alguma variável de melhor

obtenção e que não consiste na destruição do material, mesmo que a determinação direta seja necessária no primeiro momento para o ajuste das equações (SILVEIRA, et al., 2008).

Os autores YETTI et al. (2011), avaliando o desempenho de crescimento e acúmulo de biomassa em uma plantação de *Khaya ivorensis* em três séries de solo de argissolos, constataram que, as diferenças no crescimento e resultados de acumulação de biomassa indicam que a produtividade da floresta é afetada por diferentes condições do local em que está inserida, onde, o maior desempenho de crescimento e volume do caule, bem como acúmulo de biomassa de *K. ivorensis* foi em sítios mais férteis.

OPOKU, (2012), estudando o crescimento e produtividade de *Khaya grandifoliola* na floresta semidecidual seca de Gana, comparando povoamentos puros e mistos, observou que o desempenho de crescimento e produtividade de *K. grandifoliola* em povoamentos puros e mistos foi melhor em povoamentos puros do que em povoamentos mistos após quatro anos de estabelecimento. Havendo diferença significativa no crescimento do diâmetro de *K. grandifoliola* em puro e em representações mistas ($p = 0,001$). *K. grandifoliola* teve um melhor crescimento de diâmetro de 9,15 cm em puro (OPKU, 2012).

Os ajustes dos modelos podem ser realizados para cada parte da árvore (raiz, folha, galho ou fuste) ou de todo o conjunto, dependendo apenas do nível de informações que se deseja obter. As equações matemáticas a serem utilizadas devem ser escolhidas levando em consideração o local onde foram desenvolvidas, as espécies incluídas, as classes de tamanho, a idade, o nível de amostragem, os erros das estimativas e outros parâmetros (SOMOGYI et al., 2006).

2.6.3 Uniformidade do povoamento

Para se realizar os tratamentos silviculturais com qualidade, torna-se necessária a distribuição dos insumos e dos recursos no povoamento de forma mais uniforme, contribuindo de forma positiva para o crescimento da floresta (STAPE et al., 2010). Deste modo, ações como medir, avaliar e monitorar, são essenciais para controlar a qualidade do plantio, podendo, assim, reduzir o distanciamento da produção do povoamento do seu potencial produtivo (PEREIRA FILHO, 2016). Assim, umas das possíveis formas de se verificar a uniformidade do plantio é por meio da utilização do índice PV50, que consiste na porcentagem de volume acumulado de 50% das menores árvores da parcela (PV50). O PV50 requer o ordenamento das árvores da parcela da menor para a maior árvore em volume individual (ou altura elevada ao cubo) (HAKAMADA et al., 2015).

A utilização dessas técnicas de avaliação de uniformidade de plantios pode indicar povoamentos mais uniformes na fase inicial, podendo indicar povoamento mais produtivos ao final da rotação, fato este, constatado por Hakamada et al. (2015), aferindo que, os impactos causados pela heterogeneidade no volume de madeira produzido ocorrem desde as fases iniciais de crescimento das espécies florestais.

2.6.4 Cubagem rigorosa

Segundo Gomes (1957), entende-se a cubagem rigorosa como sendo a medição de sucessivos diâmetros ao longo do fuste da árvore. Na cubagem rigorosa, a árvore é dividida em seções, de comprimentos iguais ou não; por meio da utilização de fórmulas geométricas o volume dessas seções é obtido e, por adição destas partes, o volume da árvore é calculado (FAO, 1973). As principais metodologias empregadas na cubagem rigorosa são as de Smalian, Huber e de Newton.

Avaliando equações de volume para *Khaya ivorensis* A. Chev., em plantações no Brasil, Oliveira et al. (2018) realizaram a cubagem em *K. ivorensis*, em intervalos mais curtos de até dois metros de altura (0,1; 0,7 e 1,3 metros). Acima de que as medidas de diâmetro foram feitas em intervalos de um metro, até a altura comercializável (hc), que corresponde à altura de inserção do primeiro ramo principal. Alturas e diâmetros no peito altura foram coletados usando fita métrica e compasso de calibre, respectivamente.

Gomes (1957) comenta que as medições diamétricas podem ser realizadas a 0,30; 1,30; 3,30; 5,30; e assim sucessivamente, de 2 em 2 metros, porém, as distâncias entre medições diamétricas podem ser alteradas em função da forma e da rigorosidade do processo de cubagem. Scolforo e Figueiredo Filho (1993) recomendam as seguintes distâncias de medições para *Eucalyptus* e *Pinus*: 0,05; 0,07; 1,30; e 2,30, com comprimentos de seções entre 1 e 2 metros. Este comprimento deve ser tal que se controle ao máximo o efeito da conicidade e que as seções sejam regulares. Já para árvores nativas, Scolforo, Mello e Almeida (1994) estabeleceram as seguintes distâncias de medições dos diâmetros: 0,30; 0,70; 1,30; 2,00; e assim sucessivamente, de metro em metro, até a altura desejada para a cubagem.

Os métodos de cubagem rigorosa são divididos em métodos absolutos e relativos. Os métodos absolutos são aqueles em que o comprimento da seção (tora) não tem vínculo com o comprimento total da árvore. Nos métodos relativos, o comprimento da seção ou tora representa um percentual do comprimento total da árvore, permitindo a comparação dos volumes individuais de árvores de tamanho diferente, porém com a mesma forma. A cubagem rigorosa deve ser realizada por classe de diâmetro e de altura. Nestas condições e dentro de tratamentos

silviculturais semelhantes, espera-se que os indivíduos tenham forma semelhante e constante. Sendo assim, haverá uma semelhança nos volumes de todos os indivíduos pertencentes à mesma classe de altura e de diâmetro (GOMES, 1957). Na cubagem rigorosa, a árvore é dividida em seções, de comprimentos iguais ou não; por meio da utilização de fórmulas geométricas o volume dessas seções é obtido e, por adição destas partes, o volume da árvore é calculado (FAO, 1973).

Nicoletti et al. (2021) comentam também, em seu estudo para quantificação do fator de forma por meio de diferentes métodos de cubagem em *Pinus taeda* L, que os métodos de cubagem mais satisfatórios para determinar o fator de forma, tendo como base o xilômetro, foram Hohenadl (5 seções) e Newton para idade 9, e Smalian para idade 20. Aos 13 anos, todos os métodos testados tiveram diferença significativa em relação ao xilômetro, portanto, não foram ideais para determinar o fator de forma. Para tal, o emprego desses métodos pode variar de espécie pra espécie e também em relação à idade do povoamento.

Para os autores, Oliveira et al. (2018), avaliando a eficiência de equações de volume para *Khaya ivorensis* A. Chev., em plantações no Brasil, os mesmos constataram que o modelo Schumacher e Hall é recomendado para estimar o volume comercializável para árvores em idades próximas ao primeiro desbaste (7 anos) e ao corte final (14-15 anos). Modelo logaritmizado Spurr foi o melhor para estimar o volume total de árvores próximas para o primeiro desbaste, e o modelo Spurr foi o melhor para estimar o volume total de árvores com idades próximas a corte final. Para tal, o emprego desses métodos pode variar de espécie para espécie e também em relação à idade do povoamento.

O processo de obtenção do volume de toras de madeira, também conhecido por cubagem, envolve várias dificuldades, essencialmente devido às tomadas de medidas e à forma do material em questão. Sabe-se que o volume de uma tora pode ser obtido com boa fidelidade se mergulhada em água e, após aguardar o seu encharcamento, anotarmos o volume de água por ela deslocado (método conhecido por xilometria) for registrado (HAKAMADA et al., 2015). Mas esse método, além de pouco prático, é inviável, se aplicado em árvores ainda não cortadas.

Portanto, estimativas de produção, quando empregadas de forma errônea, tendem a se tornar malsucedidas, podendo acarretar em um planejamento e gestão de povoamento de forma equivocada, contudo, torna-se necessário utilizar metodologias que possibilitem obter estimativas precisas de crescimento e desenvolvimento de povoamentos florestais, com mínimo esforço, custos e tempo, a fim de se fazer o manejo adequado, por meio de equações (MACHAVA, 2018).

2.7 Estimativa da biomassa

O conhecimento da dinâmica do acúmulo de biomassa é de fundamental importância para a compreensão do funcionamento dos ecossistemas e para quantificação de nutrientes em todas as partes da planta e nos estratos de vegetação, o que nos permite comparar diferentes tipos de espécies ou vegetação em um mesmo sítio ou comparar espécies e vegetações em diferentes sítios (SILVEIRA, 2009; WINCK et al., 2015). No planejamento florestal esse conhecimento está ligado diretamente às melhores práticas de manejo, tais como o preparo do solo, adubação de correção, definição da idade e época da colheita (MAGIERO et al., 2009; ABREU, 2012).

Existem diversas maneiras para se quantificar a biomassa de uma floresta, como o método direto e indireto. O direto consiste no abate das árvores (destrutivo) e divisão de seus componentes (folhas, galhos, cascas e fuste na parte aérea e raízes na parte subterrânea), que são pesados em campo e, posteriormente, soma-se as partes para se obter a biomassa verde total. Amostras são retiradas e levadas para uma estufa com circulação de ar forçada para a determinado teor de umidade, calculando-se, assim, a massa seca de cada compartimento e total. Já o método indireto é obtido pelo uso de modelos de regressão, baseados em quantificações do método direto e relacionadas com variáveis dendrométricas ou por meio de dados provenientes de análises de sensoriamento remoto (VIEIRA et al., 2008; QURESHI et al., 2012). Um outro método usual encontrado na literatura, é o da estimativa da biomassa por meio de fatores de expansão do volume de madeira, conhecido como *Biomass Expansion Factor* (SANQUETTA et al., 2011; CASSOL, 2013; MAGALHÃES; SEIFERT, 2015). A partir destas definições, destaca-se que o uso do método direto reflete em quantificações reais da biomassa, ao passo que, o uso dos métodos indiretos remete às estimativas de biomassa.

O custo e a demanda por tempo são duas das desvantagens em se trabalhar com o método direto na obtenção da biomassa (WINCK et al., 2015). Por esta razão, este é usado apenas para quantificar a biomassa em uma amostra da população. Após a obtenção dessa variável, a estimativa da biomassa para o povoamento florestal é obtida por meio de ajustes de modelos de regressão (QURESHI et al., 2012). Em geral, esses modelos analisam a correlação entre variáveis dendrométricas, como, por exemplo, DAP, altura da árvore e a densidade com a biomassa calculada (CHAVE et al., 2005). O uso dessas variáveis, separadamente ou combinado, está presente na maior parte dos modelos ajustados. Silveira (2009) afirma que o DAP é a variável que mostra melhor correlação com altura, sendo, então, a variável mais utilizada na estimativa da biomassa.

Muitos estudos objetivam descrever as relações entre variáveis que permitam encontrar maneiras de estimar variáveis de difícil obtenção, utilizando uma variável de fácil obtenção, baseando-se em observações e técnicas de regressão. Dessa forma, o uso da análise de regressão como técnica estatística, utiliza a relação entre duas ou mais variáveis, de modo que uma variável dependente pode ser estimada através de uma ou mais variáveis independentes (NETER; WASSERMAN; KUTNER, 1996; KUTNER et al., 2004). Os modelos de regressão empregados nas estimativas de biomassa florestal podem fazer uso tanto da massa verde, quanto da massa seca de uma floresta, entretanto, a biomassa seca é a mais utilizada nesses estudos, pois, pode ser convertida facilmente em carbono orgânico florestal (CASSOL, 2013).

Modelos que utilizam parâmetros que garantem bons ajustes são amplamente empregados no setor florestal, com o objetivo de fazer análises quantitativas a respeito do crescimento florestal, porém, os coeficientes derivados do resultado não exprimem as relações funcionais da árvore e são caracterizados como descritivos (SILVA et al., 2014). Tais modelos de regressão são desenvolvidos e classificados em três categorias, conforme Neter et al. (1996) e Draper e Smith (1998). A explicação utilizada por Draper e Smith (1998) para a divisão, em classes de modelos, está atribuída à dependência dos parâmetros quando se realiza a derivada parcial em função dos parâmetros. As três classes são:

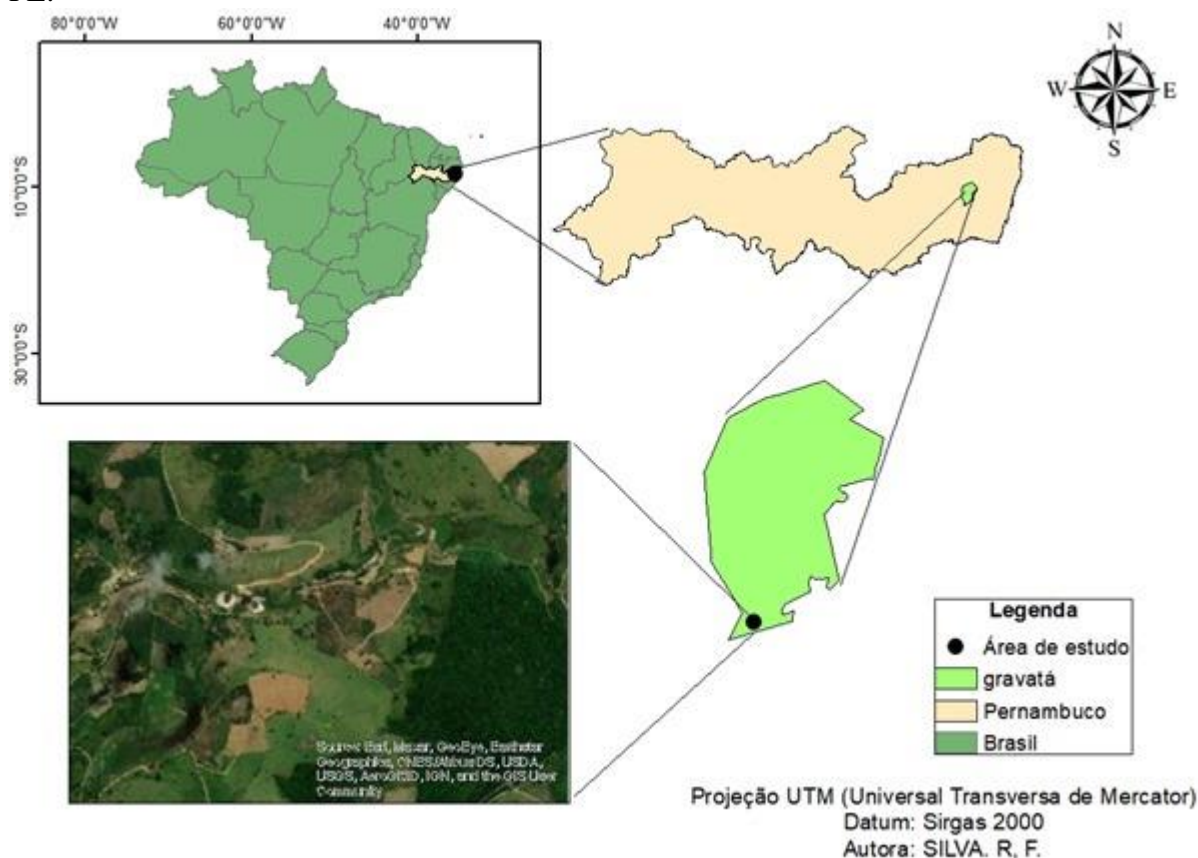
- ✓ Modelos Lineares: são aqueles em que a derivada parcial, em relação aos parâmetros do modelo, não depende de nenhum parâmetro;
- ✓ Modelos Linearizáveis: em sua essência, são modelos não lineares, porém, podem se tornar lineares por meio de uma transformação adequada; e
- ✓ Modelos Não Lineares: são aqueles em que, pelo menos, uma das derivadas parciais depende de algum parâmetro do modelo.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Características gerais da área de estudo

O ambiente de estudo está localizado na propriedade privada situada no interior de Uruçu – Mirim, distrito de Gravatá-PE, inserida sob as coordenadas geográficas de 08° 12' 04" de latitude sul e 35° 33' 53" de longitude oeste, região do agreste Pernambucano (Figura 1).

Figura 1 - Localização geográfica da fazenda São Francisco, Uruçu-Mirim, distrito de Gravatá-PE.

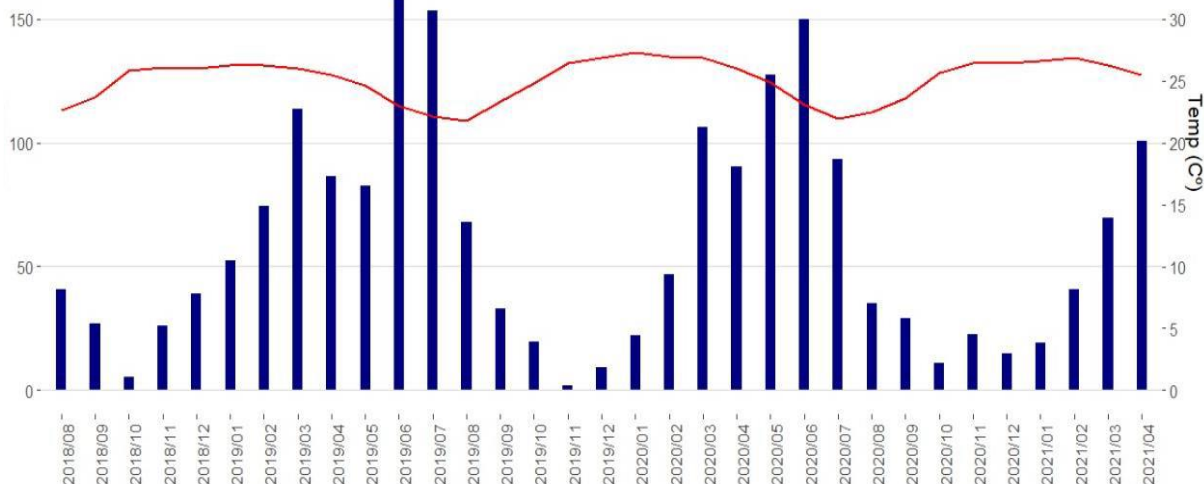


Fonte: (SILVA, 2021).

O município de Gravatá se encontra na mesorregião Agreste e na Microrregião Vale do Ipojuca do Estado de Pernambuco, está inserido na unidade geoambiental do Planalto da Borborema, com vegetação formada por Florestas Subcaducifólica e Caducifólica, próprias das áreas agrestes. Seu relevo é geralmente ondulado, com vales profundos e estreitos dissecados. Os solos, apresentam fertilidade bastante variada, com certa predominância de média para alta (CPRM, 2005). O clima é do tipo Tropical Chuvoso, com verão seco. A estação chuvosa se inicia em janeiro/fevereiro com término em setembro, podendo se adiantar até outubro (Figura 2). Gravatá possui clima tropical. O clima é classificado como As segundo a Köppen e Geiger.

22.9 °C é a temperatura média em Gravatá. Quanto à pluviosidade, tem média anual de 945 mm, e o solo tem textura argilosa.

Figura 2 - Dados climáticos (temperatura e precipitação) do período estudado para a região de Gravatá, obtidos através do site Nasa Power.



3.2 Preparo da área

A pesquisa foi realizada em dois plantios pré-estabelecidos, sendo eles um talhão de 2 anos e 6 meses de mogno africano e outro talhão de 2 anos e 6 meses de sistema integrado com milho e banana. As medições foram feitas nos meses de agosto e dezembro no ano 2020 e em fevereiro no ano de 2021.

Antes do plantio, a área era destinada ao pastoreio de bovinos e cultivo de milho. A implantação de mogno africano (*K. senegalensis*) ocorreu no mês de agosto do ano de 2018, sua área total é de 1,5 hectares, sendo realizados os seguintes procedimentos no preparo do solo:

- ✓ Limpeza do terreno e preparo do solo com aração;
 - ✓ Gradagem da camada superficial em profundidade de cerca de 15 cm;
 - ✓ Controle das formigas cortadeiras (aplicação de isca formicida) utilizando isca formicida à base de sulfluramida 3 g/Kg na dose de cerca de 5 kg/há;
 - ✓ Instalação de sistema de irrigação;
 - ✓ Alinhamento e marcação das covas de plantio de 25 de profundidade x 40 de largura x 40 cm de comprimento, espaçadas em arranjo 3 x 2 m;
 - ✓ Para a adubação das mudas foi utilizado NPK 10-10-10, na dosagem de 200 mg por muda;
- e

- ✓ A irrigação foi feita por gotejamento, durante 12 horas por dia. No início do plantio, era feita a irrigação após 24 horas, posteriormente, foi feita a irrigação de 48 em 48 horas, com uma lâmina de irrigação de cerca de 5 mm distribuídos durante o período de 8 horas, sendo que a taxa anual de irrigação foi de 900 mm.

Foram realizadas duas adubações de cobertura aos 12 e 24 meses após o plantio, utilizando o fertilizante NPK 10-10-10 com 200 g/muda. Durante a fase de plantio, foram utilizadas mudas de mogno africano, produzidas no viveiro da Fazenda São Francisco e as sementes foram obtidas por meio de compras de um fornecedor de Fortaleza - CE. Ao redor da área de plantio puro foram implantados outros talhões de *K. senegalensis*, com diferentes idades.

No ILF estabelecido, há a integração entre espécies florestais e culturas agrícolas com as seguintes espécies: mogno africano, milho e banana. A implantação de mogno africano (*K. senegalensis*) ocorreu no mês de agosto do ano de 2018, sua área total foi de 30 hectares. As espécies de mogno africano e banana foram implantadas na mesma semana, já o milho foi implantado após 40 dias. No entorno da área de ILF, foi realizada gradagem na camada superficial para a instalação de outras culturas. Para a realização do plantio, foram realizados os seguintes procedimentos:

- ✓ Limpeza e preparo do solo para o plantio por meio da aração e gradagem da camada superficial;
- ✓ Controle de formigas e cupins;
- ✓ O espaçamento para o mogno africano foi de 3,5x3,5 m, para o milho foi de 0,80x0,80 e a banana foi de 3,5x3,5 m;
- ✓ Para a adubação de mudas, foi usado o NPK 10-10-10, na dosagem de 200 mg por muda; e
- ✓ A irrigação foi feita por gotejamento, durante 12 h por dia. No início do plantio, era feita a irrigação após 24 horas e, depois de um tempo, foi feita a irrigação de 48 em 48 horas. A lâmina média em cada irrigação era de 5 mm, sendo que a taxa anual de irrigação foi de cerca de 900 mm.

A coleta do solo foi realizada no mês de setembro no ano de 2019. Foram coletadas amostras de solos em duas profundidades, 0-10 e 10-20 cm, e realizada a análise química e física (Tabela 1 e 2). O solo em ambos os sistemas possui fertilidade natural baixa, com solo de acidez alta..

Tabela 1 - Caracterização dos atributos químicos do solo na camada de 0,00-10,0 e 10,0-20,0 cm da área do plantio puro de *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss e plantio integrado com banana e milho, na Fazenda São Francisco, situada em Uruçu Mirim, distrito de Gravatá, PE.

0-10 cm			
Variáveis	Unidade	ILF	Mogno Puro
pH	Água	5,91	5,15
P	m g.dcm ⁻³	9,56	3,73
K ⁺	Cmolc.kg	0,00	0,00
Na ⁺	Cmolc.kg	0,00	0,00
Ca ²⁺	Cmolc.kg	1,61	2,68
Mg ²⁺	Cmolc.kg	0,82	0,56
Al ³⁺	Cmolc.kg	0,12	0,59
H+Al	Cmolc.kg	8,30	6,08
H	Cmolc.kg	5,48	8,18
S	Cmolc.kg	2,44	3,26
CTC ef	Cmolc.kg	2,57	3,85
CTC total	Cmolc.kg	10,75	9,34
V	%	22,68	35,14
m	%	5,39	14,83
10-20 cm			
Variáveis	Unidade	ILF	Mogno Puro
pH	Água	6,03	5,29
P	mg.dcm ⁻³	8,25	3,92
K ⁺	Cmolc.kg	0,00	0,00
Na ⁺	Cmolc.kg	0,00	0,00
Ca ²⁺	Cmolc.kg	1,30	3,04
Mg ²⁺	Cmolc.kg	0,70	0,64
Al ³⁺	Cmolc.kg	0,00	0,53
H+Al	Cmolc.kg	8,26	8,97
H	Cmolc.kg	8,18	8,44
S	Cmolc.kg	2,02	3,69
CTC ef	Cmolc.kg	2,10	4,22
CTC total	Cmolc.kg	10,29	12,66
V	%	19,62	30,96
m	%	0,00	12,67

Em que: P: fósforo, K⁺: potássio, Na⁺: Sódio, Ca²⁺: cálcio, Mg²⁺: magnésio, Al³⁺: alumínio, H+Al: acidez potencial, H: hidrogênio, S: soma de bases trocáveis; CTC: capacidade de troca de cátions do solo; V: saturação por bases; e m: saturação por alumínio trocável.

Fonte: (SILVA, 2021).

Tabela 2 - Caracterização dos atributos físicos do solo na camada de 0,00-10,0 e 10,0-20,0 cm da área de plantio puro de *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss e plantio integrado com banana e milho, na Fazenda São Francisco, situada em Uruçu Mirim, distrito de Gravatá, PE.

0-10 cm			
Variáveis	Unidade	ILF	Mogno Puro
Ds	g cm ⁻³	1,25	1,38
VTP	g cm ⁻³	51,46	45,55
Areia	g kg ⁻¹	381,30	148,7
Areia fina	g kg ⁻¹	209,67	148,77
Areia grossa	g kg ⁻¹	171,62	264,95
Silte	g kg ⁻¹	186,05	235,17
Argila	g kg ⁻¹	432,65	351,09
ADA	g kg ⁻¹	113,89	3,28
10-20 cm			
Ds	g cm ⁻³	1,18	1,42
VTP	g cm ⁻³	54,3	42,5
Areia	g kg ⁻¹	291,88	205,66
Areia fina	g kg ⁻¹	185,48	185,33
Areia grossa	g kg ⁻¹	196,26	225,98
Silte	g kg ⁻¹	181,68	125,53
Argila	g kg ⁻¹	436,56	463,44
ADA	g kg ⁻¹	6,98	6,24

Em que: Ds: Densidade do solo; VTP: Volume total de poros; e ADA: Argila dispersa em água.

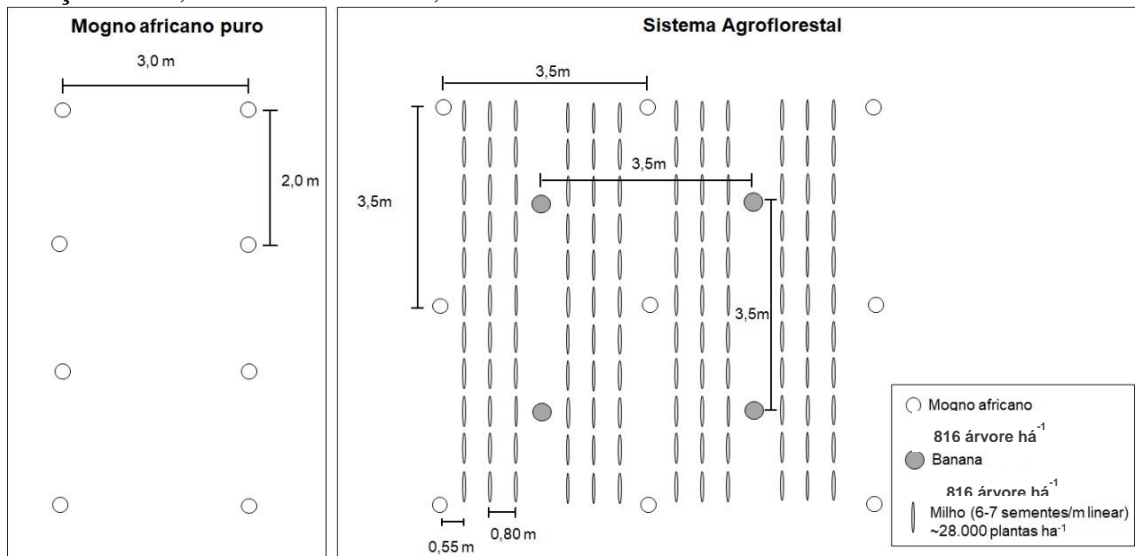
Fonte: (SILVA, 2021).

3.3 Procedimento de Amostragem

O método de amostragem para representação da população da área de estudo com plantio puro e ILF foi do tipo sistemático, utilizando parcelas retangulares medindo 180 m² no plantio de mogno puro, abrigando 30 árvores, distanciadas cerca de 10 metros entre si. No sistema de ILF, as parcelas foram de 183,75 m², com 15 indivíduos em cada parcela (Figura 3).

No plantio puro, foram alocadas 12 parcelas, com 30 árvores em cada parcela, totalizando 360 indivíduos. Na área de ILF, foram alocadas 12 parcelas, com 15 árvores em cada, totalizando 180 indivíduos. A análise da suficiência amostral das parcelas foi feita com o cálculo do erro amostral, que se baseou no procedimento de amostragem sistemática, com um erro admissível de 10% e um nível de probabilidade de 95%.

Figura 3 - Ilustração da alocação das parcelas em campo, nos plantios puro e integrado com banana e milho de *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss, na Fazenda São Francisco, situada em Uruçu Mirim, distrito de Gravatá, PE.



Fonte: (SILVA, 2021).

A sobrevivência das espécies foi determinada com base na contagem das plantas vivas, estabelecida de forma proporcional ao número total de plantas da parcela, conforme a fórmula a seguir:

$$S \% = \frac{n \text{ mudas vivas}}{n \text{ total de mudas}} \times 100$$

As árvores de mogno africano foram avaliadas quanto à altura total (Ht), circunferência à altura do peito - 1,30 m do solo (CAP) e sobrevivência em campo. A medida de CAP foi mensurada com o uso de fita métrica, o critério para medição das árvores foi de $CAP \geq 5,0$ cm, e a altura foi obtida por medida direta com auxílio de uma vara graduada. Posteriormente, esses dados foram transformados para diâmetro à altura do peito (DAP), por meio da divisão do CAP de cada planta pela constante π ($\pi = 3,1416\dots$).

A área seccional (g) em m^2 por árvore foi determinada por meio da fórmula:

$$g = \frac{\pi \times (DAP)^2}{40000} \quad (1)$$

A uniformidade da parcela foi calculada de acordo com o índice PV50. Este método consiste na porcentagem de volume acumulado por 50% das árvores, com o menor volume individual, plantadas dentro da área da parcela (HAKAMADA et al., 2015). As árvores foram

ordenadas da menor para a maior em volume individual, o cálculo do PV50 foi realizado utilizando-se a equação a seguir:

$$PV50 = \frac{\sum_{k=1}^{n/2} v_{ij}}{\sum_{k=1}^{n/2} v_{ij}}$$

Em que:

PV50 = Porcentagem acumulada do volume individual das 50% menores árvores plantadas;

v = volume individual da parcela i na idade j; e

n= número de árvores plantadas ordenadas (da menor para a maior).

3.5 Estimativa do volume individual

Para a estimativa de volume individual, foi realizada a cubagem rigorosa das árvores de mogno africano. A quantidade de árvores cubadas foram 10 para cada modalidade de plantio, foi usado o inventário realizado aos 2,5 anos para a determinação das árvores a serem cubadas (Tabela 3).

Tabela 3 – Número de árvores cubadas de acordo com a classe diamétrica, frequência e porcentagem nos plantios avaliados.

Plantio puro			
Classes (cm)	Frequência	%	Nº de árvores por classe
0-2,03	21	5,8	1
2,0-4,0	29	8,0	1
4,0-6,0	223	61,9	6
Classes (cm)	Frequência	%	Nº de árvores por classe
6,0-8,1	84	23,3	2
8,1-10,1	3	0,8	0
Total	360	100	10
Plantio integrado			
0-1,75	14	6,48	1
1,7-3,	30	13,8	1
3,5-5,2	100	46,3	5
5,2-7	65	30,0	3
7-8,75	7	3,2	0
Total	216	100	10

Fonte: (SILVA, 2021).

Na cubagem rigorosa foi empregado o método de Smallian, onde o componente lenha (fuste) foi cortado a 0,10 m do solo, depois, foi realizada a medição dos diâmetros das seções nas alturas: 0,30; 0,50; 0,70; 1,00; 1,30; e a cada 1,00 metro até a ponta (Figura 4).

Figura 4 - Etapas do processo da cubagem rigorosa segundo o método de Smallian para a *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss. A - Seleção da árvore pertencente às classes diamétricas estabelecidas; B – Demarcação do local do corte da árvore; C – Mensuração da altura dos indivíduos; e D – Mensuração do fuste nas diferentes secções.



Fonte: (SILVA, 2021).

O volume real de cada árvore foi obtido pela soma dos volumes de cada seção cubada. Após obter os dados do volume real das árvores, foi feito o ajuste de modelos volumétricos por meio da análise de regressão, em que a variável dependente foi o volume individual (v) e as variáveis independentes foram a altura (H) e o diâmetro (DAP) das árvores. Os modelos utilizados como referência para estabelecer as equações geradas no estudo estão apresentados na Tabela 5, tais modelos foram escolhidos pelo fato de serem aqueles mais utilizados nas ciências florestais no Brasil (ANDRADE et al., 2019).

Tabela 4 - Modelos volumétricos avaliados para estimar o volume individual dos povoamentos de *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss.

Modelo	Autor
$LnV = \beta_0 + \beta_1.Ln(DAP) + \beta_2.Ln(H) + \varepsilon$	Schumacher e Hall (logaritmizado)
$V = \beta_0 + \beta_1.(DAP^2.H) + \varepsilon$	Spurr
$V = \beta_0.DAP^{\beta_1} + \varepsilon$	Potência

Fonte: (SILVA, 2021).

A avaliação do modelo de melhor ajuste foi baseada nos seguintes critérios: coeficiente de determinação ajustado (R_{aj}^2); o erro padrão da estimativa absoluto (S_{xy}); e a análise gráfica dos resíduos para verificar a presença de tendenciosidade nas estimativas de volume.

3.6 Estimativa da biomassa da parte aérea

A quantificação da biomassa foi feita pelo método direto, abatendo-se 20 indivíduos e realizando a pesagem destes em campo para obtenção da massa verde. As árvores utilizadas foram as mesmas da cubagem rigorosa (Tabela 3), e foram separadas nos compartimentos tronco, casca, galhos e folhas. A soma dos compartimentos resultou na biomassa da parte aérea das plantas.

Os compartimentos foram armazenados em sacos plásticos e pesados ainda em campo, com auxílio de balança digital portátil, com tara para o peso do saco, obtendo, assim, o valor referente ao peso úmido total. O fuste foi pesado por inteiro. Na sequência, foi feita a homogeneização das folhas e retirado aproximadamente 300 g para determinação do teor de umidade, sendo feito o mesmo para os galhos. O fuste (lenho + casca) foi cortado em discos de 3 cm de espessura do fuste da árvore no DAP e a 0%, 25%, 50%, 75% e 100% (até diâmetro de 3 cm) da altura total, estes foram usados para posterior determinação do teor de umidade (Figura 5).

Figura 5 - Coleta de material em campo para a quantificação da biomassa das folhas, galhos, lenho e casca de *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss. A – Armazenamento de folhas e galhos em sacos plásticos; B – Corte das seções da árvore; C – Pesagem do material úmido em campo; e D – Armazenamento em sacos plásticos do material lenhoso.



Fonte: (SILVA, 2021).

Posteriormente, as amostras (folhas, galhos e fuste) foram levadas para o Laboratório de Microbiologia e Patologia Florestal. Foi retirada a casca de todos os discos de fuste, todos os discos continham lenho e casca separados, mas guardados no mesmo saco de papel. Não foi possível retirar exatamente a casca e, por isso, foi colocado casca com alburno. Posteriormente, foi determinado o peso úmido de cada amostra separadamente: lenho, casca com alburno, galhos e folhas. Para a secagem do material, uma estufa de circulação forçada de ar foi utilizada com temperatura estabelecida em 65°C, as amostras foram, então, pesadas e foi determinado o valor do peso seco (kg) (Figura 6).

Figura 6 - Etapas do processo de pesagem e secagem do material de *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss (discos, folhas e galhos) em laboratório. A – Separação da casca com alburno do material lenhoso; B – Alocação do material dentro da estufa; C – Pesagem dos discos de madeira; e D – Pesagem dos galhos dos indivíduos.



Fonte: (SILVA, 2021).

A determinação da biomassa seca de cada componente da parte aérea dos indivíduos foi feita com base no cálculo dado pela seguinte expressão:

$$B = \frac{Pu(c) * Ps(a)}{Pu(a)}$$

Em que:

B = Biomassa aérea (kg);

Pu (c) = Peso úmido total no campo (kg);

Ps (a) = Peso seco da amostra (kg); e

Pu (a) = Peso úmido da amostra (kg)

Para o ajuste dos modelos matemáticos para a espécie do mogno, foram utilizadas as informações de biomassa total seca acima do solo como variável dependente e as variáveis independentes foram o DAP e a altura total. O banco de dados foi formado pelos 20 indivíduos coletados na cubagem rigorosa. Para a análise de regressão, foram testadas as seguintes

condicionantes, como citado por Schneider, Schneider e Souza (2009): homogeneidade da variância pelo teste de Hartley, normalidade e independência dos resíduos.

Para a seleção da melhor equação ajustada para a espécie, foram utilizados os tradicionais critérios estatísticos, conforme Schneider, Schneider e Souza (2009): coeficiente de determinação ajustado (R_{aj}^2), erro padrão da estimativa (S_{yx}) e análise gráfica da distribuição dos resíduos ($E\hat{i}\%$). Aplicou-se o teste de identidade de modelos (LEITE, OLIVEIRA, 2006) para avaliar se os modelos ajustados nos dois sistemas de cultivo eram diferentes. Quando os modelos apresentaram diferença, foram apresentadas as equações separadamente.

O acúmulo de biomassa dos diferentes componentes foi calculado através da equação:

$$\% \text{ biomassa componente} = \frac{\text{Biomassa do componente (t)}}{\text{Biomassa total da parte aérea (t)}}$$

3.7 Densidade básica da madeira

A densidade básica foi obtida pelo método hidrostático, segundo a metodologia descrita na NBR 11.941 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2003). Em que é feita a relação da massa seca acima do volume de saturação das fibras. Para a casca, foi determinada a densidade da madeira com casca e, depois, a densidade da madeira sem casca, e por diferença, obtendo-se a densidade da casca (Figura 7). Foram utilizados os mesmos discos coletados para a elaboração das equações de biomassa.

Figura 7 - Foto ilustrativa de dispositivo de imersão em água dos discos de madeira para determinação da densidade.



Fonte: (SILVA, 2021).

3.8 Análise dos dados

Para a comparação entre os dois tratamentos em relação às variáveis altura, DAP, área basal, sobrevivência, volume individual, volume total, incremento médio anual e todos os compartimentos de biomassa da parte aérea, utilizou-se a análise de variância univariada, todas realizadas por meio do software estatístico R (R Development Core Team, 2019). As figuras foram elaboradas no programa Excel e no software estatístico R (R Development Core Team, 2019).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Variáveis dendrométricas na escala individual

Com base na avaliação realizada aos 2 anos e 6 meses de *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss em plantio puro e integrado com banana e milho, não foram observadas diferenças significativas nas variáveis DAP, altura, área seccional e volume individual (Tabela 5).

Tabela 5 - Estatística descritiva na escala individual para as variáveis dendrométricas altura (H), diâmetro altura do peito (DAP), área seccional (m²) e volume individual (m³) em plantio puro e integrado de *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss., em Uruçu Mirim distrito de Gravatá – PE.

Tratamento	Variável	DAP (cm)	H (m)	g (m ²)	v (m ³)
Mogno Puro	Média	5,55	3,34	0,0026	0,0074
	Variância	1,38	0,92	0,0010	0,0043
	Desvio Padrão	1,91	0,84	0,0000	0,0000
	CV (%)	24,9	27,4	40,8	58,6
Integração Lavoura Floresta	Média	5,08	3,23	0,0023	0,0063
	Variância	1,68	1,18	0,0012	0,0046
	Desvio Padrão	2,84	1,39	0,0000	0,0000
	CV (%)	33,1	36,4	52,6	73,1

Em que: CV = Coeficiente de variação.

Fonte: (SILVA, 2021).

A primeira hipótese de que os diferentes sistemas influenciaram o crescimento, sobrevivência, uniformidade e acúmulo de biomassa foi parcialmente corroborada, uma vez que, do ponto de vista do crescimento individual (DAP, H, área seccional e volume individual), os sistemas de cultivo foram semelhantes. Porém, quando se considera a produção madeireira na escala da área total, o povoamento cultivado no sistema de ILF produziu apenas 44% do volume do sistema puro (7,67 x 3,34 m³/ha aos 2,5 anos, respectivamente).

A sobrevivência das plantas nos diferentes sistemas foi elevada e não se diferenciou entre os tratamentos, sendo que uma das possíveis explicações se deve ao fato do plantio ter sido irrigado durante os 30 meses do plantio, bem como a classe de solo, que apresenta textura argilosa e possui elevada capacidade de retenção de água, resultando em ausência de déficit hídrico. Portanto, é provável que o sistema de irrigação não seja utilizado durante toda a rotação, o que pode comprometer futuramente a sobrevivência. A sobrevivência dos indivíduos também pode estar relacionada às características da espécie quanto ao clima da região, dada a similaridade das condições edafoclimáticas da região de origem do mogno com o local de plantio, atrelado às práticas silviculturais desde a sementeira até a manutenção do plantio.

Observa-se uma maior variabilidade entre os indivíduos na Integração Lavoura Florestal quando analisado o coeficiente de variação entre os indivíduos para todas as variáveis. Este fato pode ser comprovado através dos histogramas, onde se observa que a dispersão dos valores da

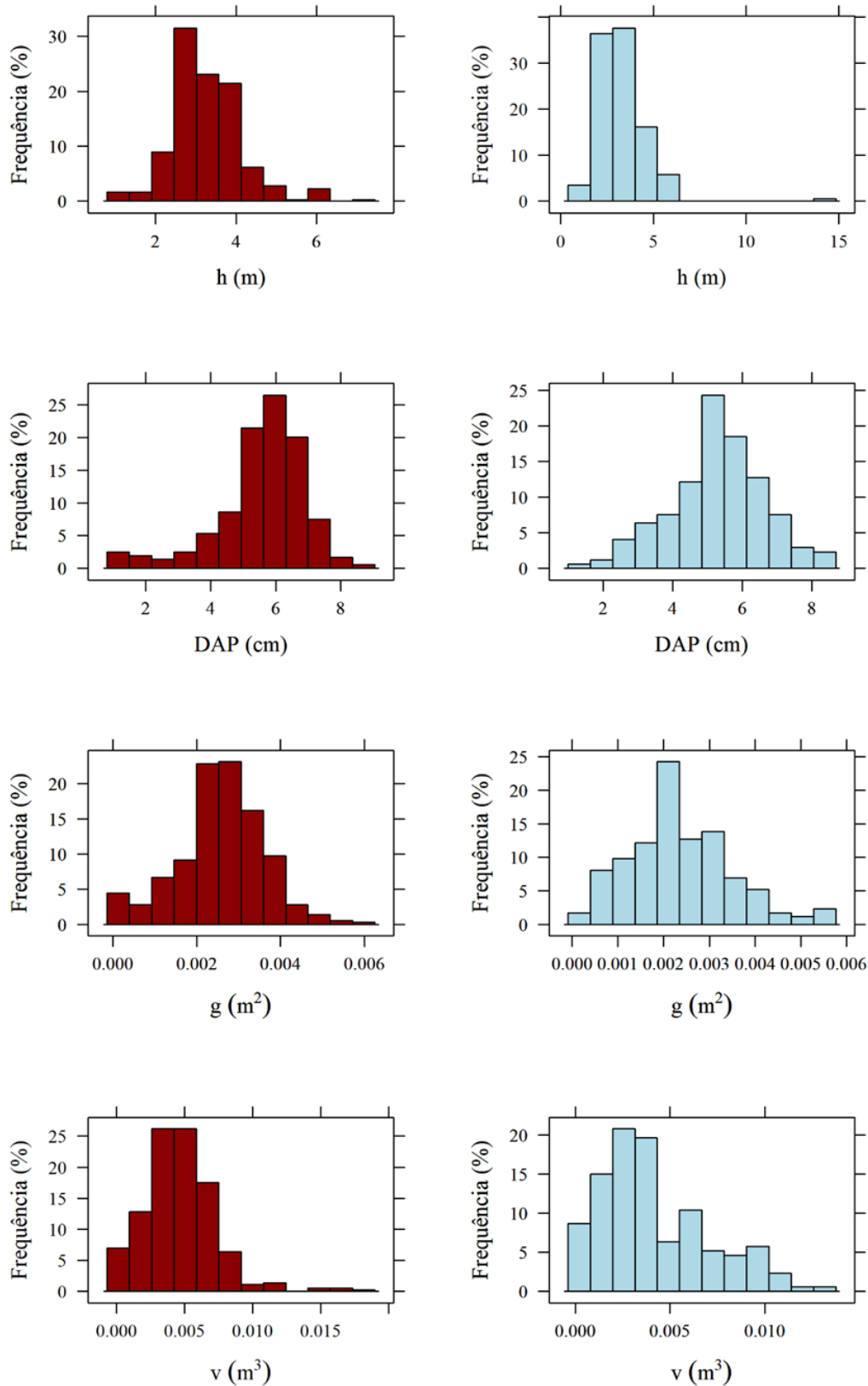
média de H e DAP no gráfico de frequência são maiores que no plantio puro (Figura 8). Isso mostra que, no sistema ILF, pode haver uma maior competição com as culturas agrícolas, que, por sua vez, podem influenciar na dispersão dos dados e na uniformidade entre os indivíduos.

As médias de uniformidade (PV50) para o plantio puro e ILF foram 31,5 e 28, respectivamente, isso quer dizer que as 50% das menores árvores da parcela representam apenas 31,5% e 28%, respectivamente, para plantio puro e integrado, do volume total. É importante ressaltar que as plantas são de origem seminal, diferente das plantas clonais, podendo haver uma maior heterogeneidade devido à diferença genética de cada planta. O registro do PV50 se faz importante para que seja criado um histórico de valores para futuros trabalhos silviculturais.

A produtividade do povoamento de mogno puro (IMA = 3,07 m³/ha/ano) aos 30 meses foi semelhante a estudo realizado em Janaúba, Minas Gerais, onde povoamentos de *Khaya ivorensis* cultivados sob espaçamento 5 x 5m obtiveram um IMA de 2,33 e de 3,37 m³/ha/ano aos 24 e 36 meses, respectivamente (DO CARMO et al., 2018). O resultado foi semelhante ao estudo realizado por Villela Reis et al. (2021), que encontrou para *K. senegalensis* aos 4 anos um IMA de 3,31 m³/ha/ano. Quando comparados às culturas florestais mais tradicionais no Brasil como o *Eucalyptus* e *Pinus*, a produtividade é muito baixa, considerando que houve uma fertilização adequada e não houve déficit hídrico devido ao aporte de água via irrigação.

Figura 8 - Distribuições de frequência para as variáveis dendrométricas altura (H), diâmetro à altura do peito (DAP), área seccional (g) e volume individual (v), em plantio puro (esquerda,

em vermelho) e integrado com milho e banana (direita, em azul) de *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss. em Uruçú Mirim, distrito de Gravatá – PE.



Fonte: (SILVA, 2021).

O crescimento em diâmetro é uma característica influenciada pelo espaçamento, dentro de certos limites, ou seja, quanto maior o espaçamento, menor é a competição entre plantas e,

consequentemente, maiores são os diâmetros adquiridos pelas árvores (OLIVEIRA NETO et al., 2010). Nesse estudo, a ausência de diferença entre o crescimento de indivíduos em uma densidade de 1.667 plantas/ha (plantio puro) e 816 plantas/ha (ILF) mostra a provável competição das culturas agrícolas com as árvores por recursos ao crescimento, uma vez que mesmo com uma densidade de cerca de 50% do plantio puro, as plantas sob ILF tiveram o mesmo crescimento individual.

4.2 Equações de Volume e Biomassa

As equações de volume individual e das frações de biomassa foram obtidas pela determinação de coletas das frações a campo, como descrito na metodologia destrutiva. As equações, utilizando o modelo de Schumacher-Hall, obtiveram os melhores resultados, com exceção da variável galho e a variável folha no plantio de mogno puro (Tabela 6).

Tabela 6 - Equações de volume individual e de biomassa dos diferentes componentes da parte aérea de *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss aos 30 meses em Gravatá, Pernambuco. Em que todos os coeficientes ajustados foram significativos ($p < 0,05$).

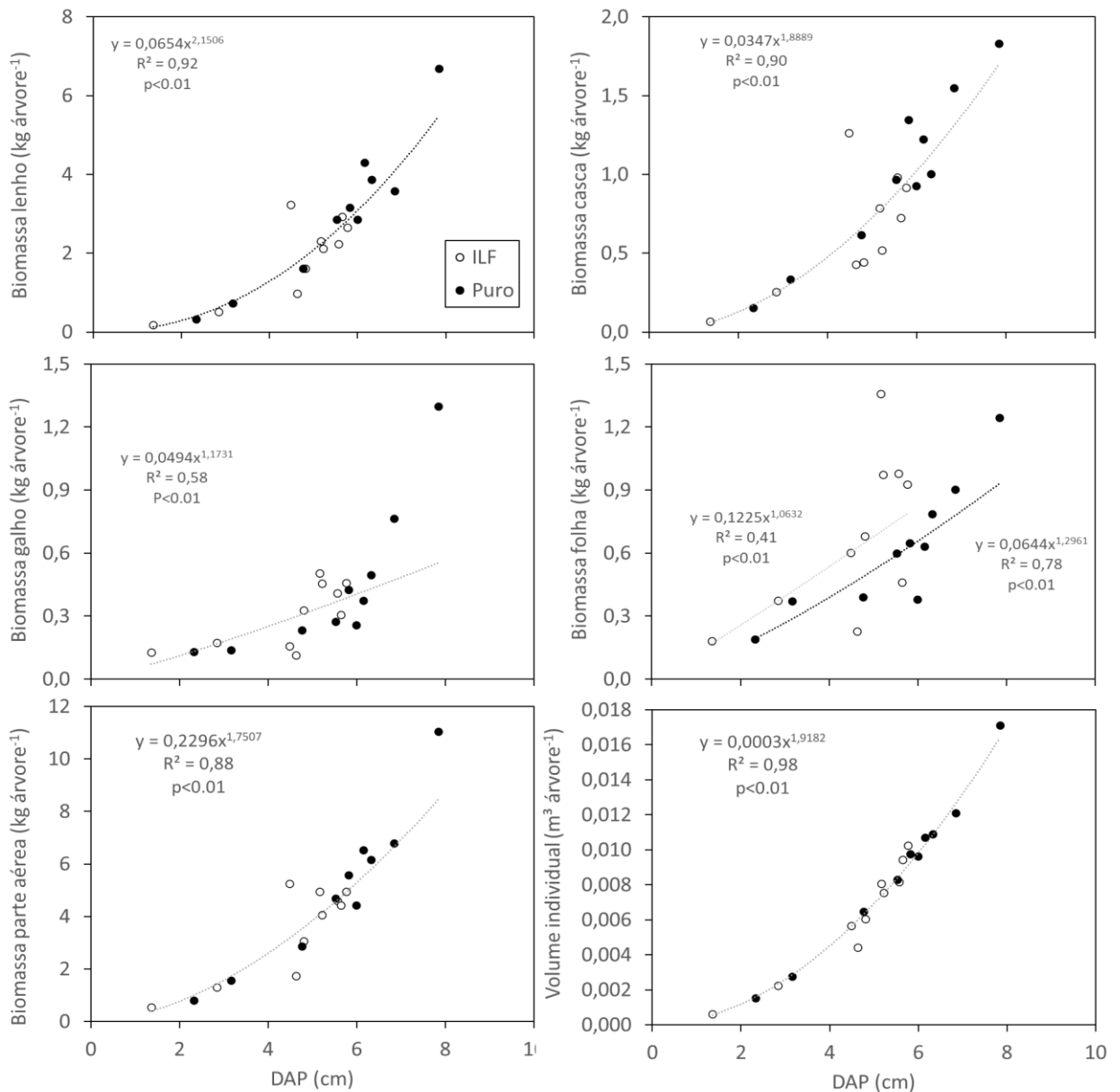
Componente	β_0	β_1	β_2	R ² aj	Syx	Valor mínimo	Valor máximo
Schumacher-Hall logaritmizado							
Volume individual	-8,26	1,70	0,39	0,99	0,083	0,002	0,017
Biomassa							
Lenho	-3,16	1,69	0,84	0,93	0,25	0,17	6,68
Casca	-3,26	1,98	-0,18	0,90	0,28	0,07	1,83
Galho	-3,48	0,67	0,91	0,60	0,43	0,11	1,30
Folha Puro	-2,60	1,59	-0,46	0,80	0,27	0,19	1,24
Folha ILF	-3,44	-0,18	2,32	0,61	0,47	0,23	1,36
Parte Aérea	-1,89	1,30	0,81	0,91	0,24	0,55	11,05
Spurr							
Volume individual	0,001384642	0,0000523	-	0,96	0,0071	0,002	0,017
Biomassa							
Lenho	0,116768	0,019553	-	0,89	0,54	0,17	6,68
Casca	0,1803	0,005365	-	0,73	0,25	0,07	1,83
Galho	-0,00702	0,003192	-	0,77	0,13	0,11	1,30
Folha Puro	0,178893	0,003096	-	0,83	0,14	0,19	1,24
Folha ILF	Sem ajuste					0,23	1,36
Parte Aérea	0,579408	0,031115	-	0,90	0,82	0,55	11,05
Potência							
Volume individual	0,0003	1,9182	-	0,99	0,091	0,002	0,017
Biomassa							
Lenho	0,0654	2,1506	-	0,92	0,26	0,17	6,68

Casca	0,0347	1,8889	-	0,90	0,27	0,07	1,83
Galho	0,0494	1,1731	-	0,57	0,44	0,11	1,30
Folha Puro	0,1225	1,063	-	0,80	0,26	0,19	1,24
Folha ILF	0,0644	1,2961	-	0,52	0,49	0,23	1,36
Parte Aérea	0,2296	1,7507	-	0,90	0,25	0,55	11,05

Fonte: (SILVA, 2021).

Para melhor representação gráfica desses dados, foram confeccionados os gráficos de regressão de volume individual e biomassa dos diferentes componentes da parte aérea em função do DAP (Figura 9).

Figura 9 - Equações de volume individual e de biomassa dos diferentes componentes da parte aérea de *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss, aos 30 meses em Gravatá, Pernambuco, em função do diâmetro à altura do peito (DAP, cm) para evidenciar a possibilidade de uso apenas da variável DAP na estimativa dos componentes.



Fonte: (SILVA, 2021).

Em relação à biomassa, Gonçalves et al. (2017) encontraram para clones elite de *Eucalyptus* aos 30 meses sob condições de baixo déficit hídrico uma produção de biomassa de lenho de até 50 toneladas/ha, valor 12 vezes superior ao encontrado no presente estudo. Considerando que há uma relação entre o crescimento obtido nos anos iniciais com o desenvolvimento das culturas florestais na fase adulta (HAKAMADA et al., 2015, TAMBARUSSI et al., 2017), é preciso muita cautela na expansão da cultura que atualmente ocorre no país, com estimativa de até 50 mil hectares já plantados e expectativa de crescimento (FERRAZ FILHO et al., 2021), uma vez que os custos com a implantação e condução dos povoamentos podem superar os ganhos oriundos da venda dos produtos florestais. Com isso, é preciso muita cautela na expansão da cultura que atualmente ocorre no País, com estimativa de até 50 mil hectares já plantados e expectativa de crescimento (FERRAZ FILHO et al., 2021), mesmo que os custos com a implantação e condução dos povoamentos possam superar os ganhos oriundos da venda dos produtos florestais.

4.3 Variáveis dendrométricas na escala do povoamento

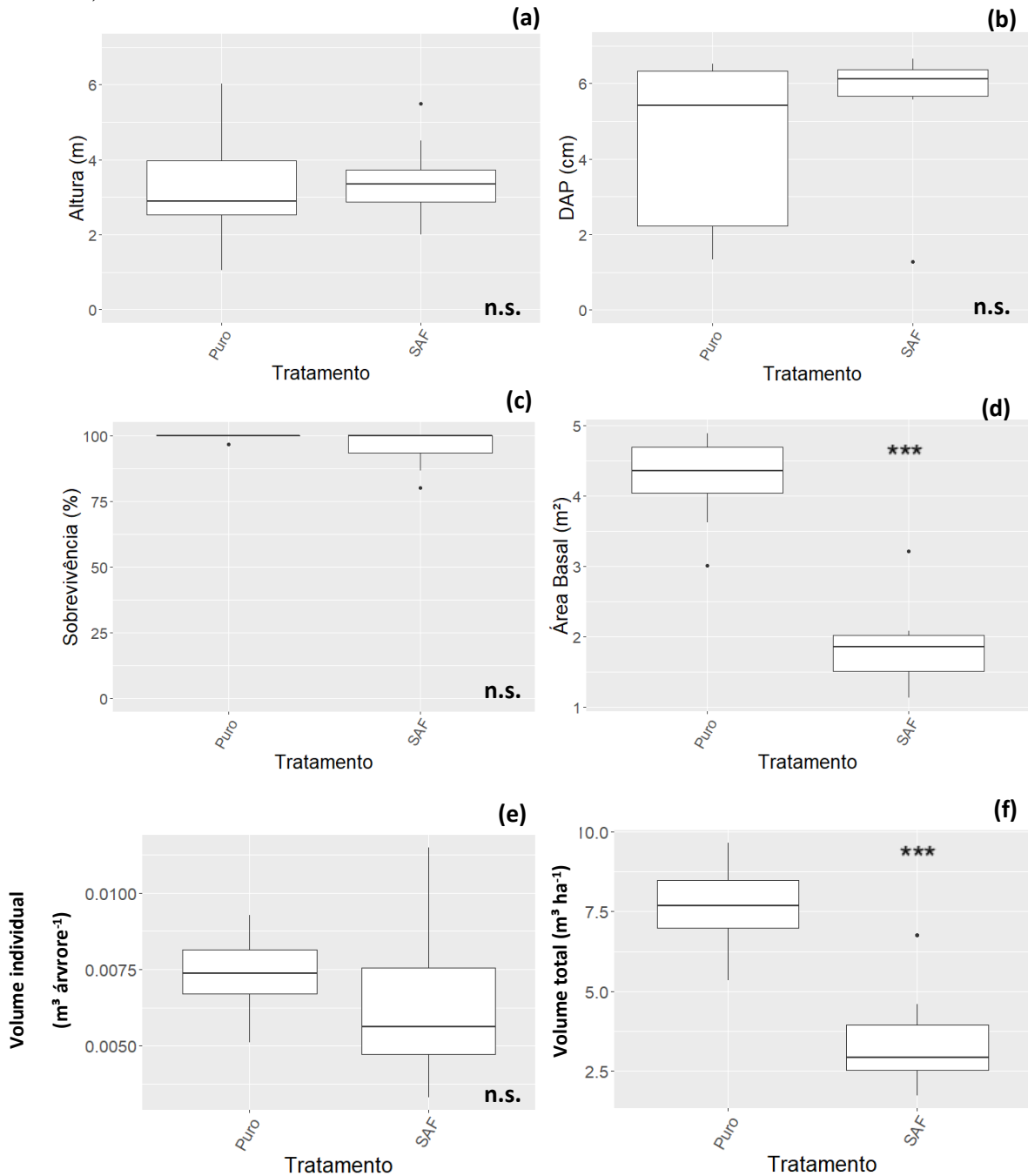
A Figura 10 ilustra a comparação dos sistemas de cultivo na escala de área total (hectare). As variáveis altura (a), DAP (b) e volume individual (e) seguiram a tendência obtida na escala individual e não diferiram entre os tratamentos. A média geral destas variáveis foi de 3,33 m, 5,52 cm e 0,0068 m³/árvore, respectivamente. Porém, as variáveis área basal (m²/ha) (d), volume total (m³/ha) (f) e Incremento Médio Anual (IMA, m³/ha/ano) (g) foram superiores no plantio de puro. A área basal do plantio puro foi de 4,28 m²/há, 233% superior ao ILF (1,84 m²/ha), enquanto o volume total foi de 7,67 m³/ha frente a 3,34 m³/ha no ILF, resultando em uma IMA de 3,07 e 1,34 m³/ha/ano, respectivamente.

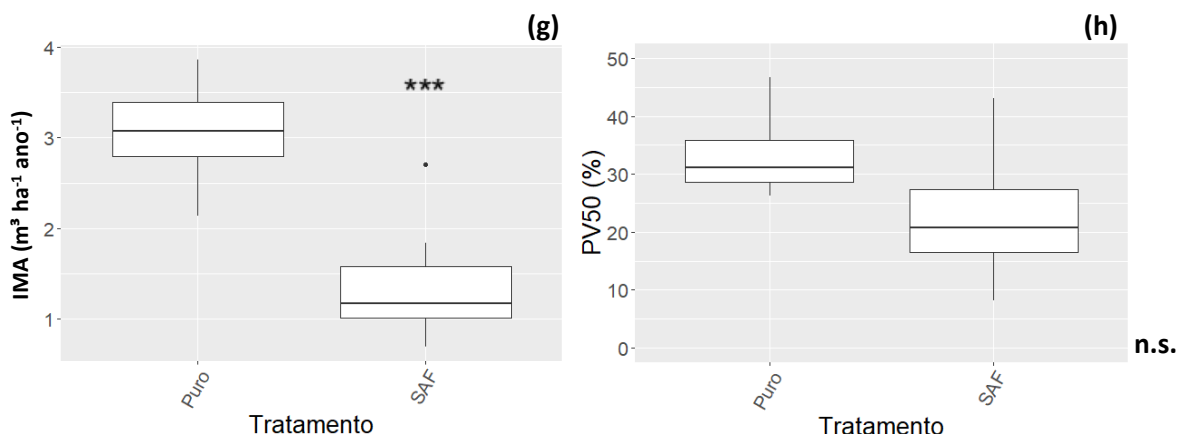
A sobrevivência (c) foi elevada em ambos os sistemas de cultivo (média de 98%) e a uniformidade, capturada através do índice PV50, não se diferenciou entre os tratamentos, com uma média de 29,45%. A densidade básica da madeira média de todos os indivíduos amostrados foi de 0,573 kg/dm³, não havendo diferença entre o cultivo de mogno puro e sob integração com culturas agrícolas (Figura 10).

Em relação à biomassa acumulada aos 30 meses, não houve diferença entre o percentual de biomassa alocada nos compartimentos da parte aérea (Figura 11), apenas com um leve aumento no percentual de biomassa foliar do plantio puro em relação ao ILF. Porém, o acúmulo de biomassa foi maior em todos os compartimentos da parte aérea no plantio puro (Figura 12),

com um incremento de 235% de biomassa de lenho, 230% de biomassa de casca com alburno, 328% de biomassa foliar e 226% de biomassa de galho, resultando em uma biomassa da parte aérea 244% superior ao plantio puro comparado ao ILF.

Figura 10 - Comparação entre os plantios puro e agroflorestal (SAF) aos 30 meses de *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss, das variáveis altura (a), diâmetro à altura do peito – DAP (b), sobrevivência (c), área basal (d), volume individual (e), volume total (f), Incremento Médio Anual – IMA (g), PV50 (h) e densidade da madeira (i). n.s.: não significativo e *** significativo a 0,1% na análise de variância.

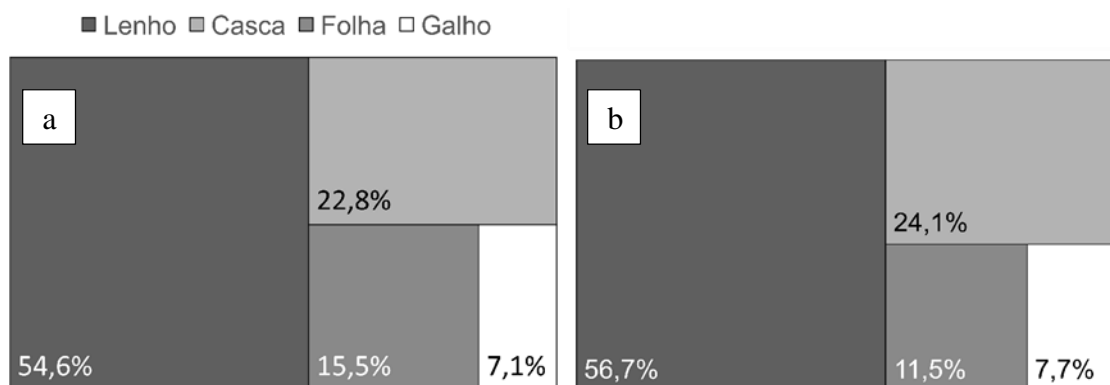




Fonte: (SILVA, 2021).

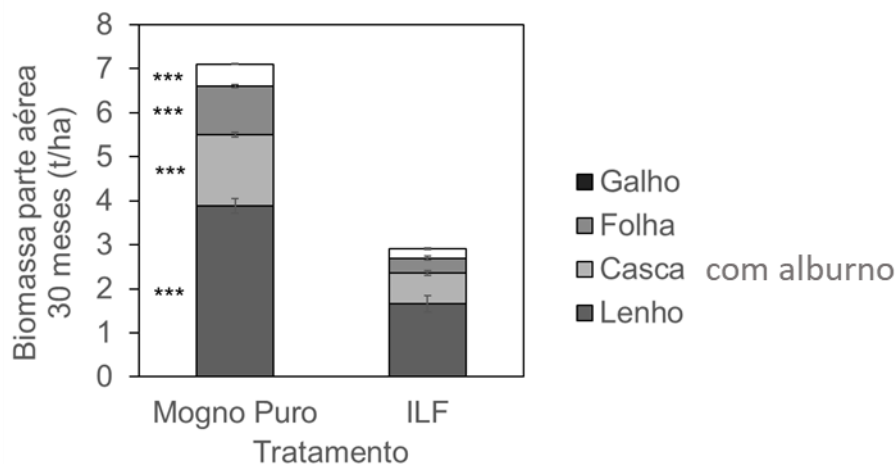
As análises de biomassa mostram que o percentual de biomassa em relação à biomassa da parte aérea diferiu pouco entre os tratamentos (Figura 11), apenas com uma maior taxa de biomassa nas folhas no plantio de mogno puro (15,5%) comparado ao sistema integrado (11,5%). As folhas são responsáveis pela fotossíntese e entrada de carbono nas plantas, sendo que a maior quantidade de folhas em povoamentos florestais pode levar a um maior acúmulo de biomassa (GIUNTI NETO et al., 2015). No entanto, o acúmulo total de biomassa aos 30 meses foi superior no plantio puro para todos os compartimentos da parte aérea (Figura12) . O menor acúmulo de biomassa no ILF em relação ao plantio puro pode ter ocorrido devido a dois fatores, que não foram isolados no presente estudo: a competição entre os indivíduos de *K. senegalensis* com as culturas agrícolas e a menor captura e eficiência de uso de recursos ao crescimento no plantio sob integração, pelo fato de o espaçamento ser mais aberto e ocorrer o menor aproveitamento da luz para a realização da fotossíntese (BINKLEY et al., 2013; SCHWERZ et al., 2019).

Figura 11 - Acúmulo de biomassa nos diferentes compartimentos da parte aérea no povoamento puro (a) e sob integração lavoura-floresta (b) em plantios de *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss.



Fonte: (SILVA, 2021).

Figura 12 - Biomassa da parte aérea de *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss cultivada em plantio puro e integrado com milho e banana nos 2,6 primeiros anos de cultivo.



Fonte: (SILVA, 2021).

Apesar da menor produção madeireira inicial do ILF, houve a produção de cerca de 20 mil kg/ha de banana e cerca de 8.000 kg/ha de milho verde em espiga, que foram comercializados frescos para consumidores locais. Sendo que, cada cacho de banana pesou em média 50 a 60 kg, quanto ao milho, foram colhidas 800 espigas de milho. Neste trabalho infelizmente não foram contabilizados os custos e receitas dos dois sistemas. Cada sistema, provavelmente, terá algumas vantagens do ponto de vista financeiro, que precisam, futuramente, ser calculadas.

Uma fraqueza do presente trabalho foi a ausência de avaliações de produção nas culturas agrícolas, fazendo com que não fosse possível capturar neste momento se a menor produção nesta fase inicial poderia ser compensada pelos ganhos obtidos pelas culturas agrícolas. Neste trabalho, não foi possível fazer uma distinção se esta redução foi causada pelo efeito do tratamento em si ou da menor densidade de plantio no sistema ILF, que possuía cerca de metade de indivíduos comparado ao cultivo puro. Como os indivíduos obtiveram o mesmo crescimento mesmo em densidades populacionais distintas, sugere-se que houve a competição por recursos ao crescimento com as culturas do milho e da banana. Todavia, esta cultura é manejada visando o desenvolvimento das plantas no longo prazo (ao menos 20 anos), ou seja, permanecem apenas cerca de 200-300 indivíduos superiores, e as culturas agrícolas podem auxiliar no retorno financeiro dos produtores sem afetar o crescimento individual e a produção final dos indivíduos remanescentes após os desbastes futuros.

Quando se compara as equações elaboradas para o presente estudo para os dois tratamentos, através da análise de identidade das equações (LEITE; OLIVEIRA, 2006),

corrobora-se, parcialmente, a segunda hipótese, pois, para todas as variáveis estudadas – com exceção da biomassa foliar –, os tratamentos não se diferiram. Ou seja, as equações de volume individual e biomassa foram iguais para o plantio puro e o plantio sob integração lavoura-floresta. Sob o ponto de vista prático, o ajuste de uma equação para os dois sistemas de cultivo facilita o processamento de dados e estimativa de produtividade da cultura.

Devido à idade jovem dos povoamentos, enfatiza-se a necessidade de se continuar realizando o acompanhamento periódico do crescimento nesses plantios. Reconhece-se que os resultados precoces, como os obtidos no presente trabalho, podem alterar ao longo do tempo, principalmente se tratando de povoamentos de longo prazo (ao menos 20 anos). No entanto, no Brasil, os estudos com os gêneros *Pinus* e *Eucalyptus* demonstram que os resultados obtidos nos iniciais possuem uma alta correlação com os povoamentos em idade de corte, fato comprovado pela seleção precoce de materiais genéticos superiores nos programas de melhoramento, realizados entre 2 e 4 anos (GONÇALVES et al., 2005; ARAÚJO et al., 2021; TAMBARUSSI et al., 2017).

5. CONCLUSÕES

A ausência de diferença de crescimento individual entre o plantio puro e o ILF indicam que o ILF pode ser uma alternativa interessante principalmente aos pequenos produtores, que podem abater os custos de implantação com a produção agrícola, que no presente estudo foi de 20 t ha⁻¹ de banana e 8 t ha⁻¹ de milho. A diferença de crescimento em área total (IMA de 3,07 x 1,37 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ no plantio puro e ILF, respectivamente) não deve favorecer o plantio puro no longo prazo, uma vez que o sistema de alto fuste com desbaste de longo prazo retém cerca de 200-400 indivíduos por hectare ao final da rotação.

A baixa produtividade do mogno africano em uma região com condições edafoclimáticas adequadas ao seu crescimento e com irrigação permanente revelam que é necessário cautela na implantação da cultura em novas áreas, principalmente pelo elevado investimento e desconhecimento em relação ao comportamento da cultura no longo prazo.

6. REFERÊNCIAS

ABREU, J. C. **Modelagem de biomassa e de nutrientes de espécies da caatinga no município de Floresta – PE**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, p. 111. 2012.

ABREU, Y K. L. **Emprego de funções de densidade de probabilidade na modelagem da distribuição diamétrica de clones de *Eucalyptus* spp.** Dissertação (Mestrado em Biometria e Estatística Aplicada) – Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, p. 113. 2018.

ALVARENGA, D. N. **Avaliação do crescimento em diâmetro do mogno africano (*Khaya ivorensis*), implantado em Rive, município de Alegre-ES**. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Espírito Santo. Espírito Santo, p. 35. 2015.

ANDERSON L. S.; SINCLAIR F. L. Ecological interactions in agroforestry systems. **Agrofor Abstr**, v. 6, n. 2, p. 57-91, 1993.

ANDRADE, V. C. L.; COSTA GAMA, R.; TERRA, D. L. C. V. Revisão sobre modelos volumétricos empregados em povoamentos florestais brasileiros. **Advances in Forestry Science**, v. 6, n. 1, p. 561-566, 2019.

ARAUJO, M. J. et al. Initial productivity and genetic parameters of three *Corymbia species* in Brazil: designing a breeding strategy. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 51, n. 1, p. 25-30, 2021.

ARNOLD, R. *Khaya senegalensis* – current use from its natural range and its potential in Sri Lanka and elsewhere in Asia. In: **Prospects for high-value hardwood timber plantations in the 'dry' tropics of Northern Australia**. Proceedings of a Workshop held in Mareeba. Mareeba: Department of Primary Industries and Fisheries, 2004, p. 1-8.

AZEVEDO, C. M. B. C. et al. Desempenho do Mogno africano (*Khaya ivorensis*) e do milho em sistema de integração Lavoura-Pecuária-Floresta na Amazônia Oriental. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 8, 2011, Belém. **Anais...** Belém: Embrapa Amazônia Oriental: UFRA: CEPLAC: EMATER: ICRAF, 2011.

BALBINO, L. C. et al. Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1-11, 2011.

BERNARDINO, F. S.; GARCIA, R. Sistemas silvipastoris. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n. 60, p. 77-88, 2010.

BERNARDINO, F. S.; GARCIA, R. Sistemas Silvipastoris. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n. 60, p.77-87, 2009.

BINKLEY, D. et al. Light absorption and use efficiency in forests: Why patterns differ for trees and stands. **Forest ecology and management**, v. 288, p. 5-13, 2013.

BOINOT, S. et al. Alley cropping agroforestry systems: Reservoirs for weeds or refugia for plant diversity? **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 284, p. 106584, 2019.

BRAND, M. A. et al. Parâmetros de controle de qualidade e preço da biomassa florestal para a geração de energia. **P & D: Revista Pesquisa e Desenvolvimento da Aneel**, v. 3, p. 36-37, 2009.

BRIENZA JÚNIOR, S. et al. Recuperação de Áreas Degradadas com Base em Sistema de Produção Florestal Energético-Madeireiro: indicadores de custos, produtividade e renda. Belém, PA. **Amazônia ciência e desenvolvimento**, v. 4, n.7, p. 197-219, 2008.

BRITO, J. O. O Uso Energético da Madeira. **Estudos Avançados**, v. 21, n. 59, p. 185-193, 2007.

BUENO, O. C. **Análise energética e eficiência cultural do milho em assentamento rural**. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Universidade Estadual Paulista. Botucatu, p. 157. 2002.

CALLAWAY, R. M.; WALKER, L. R. Competition and facilitation: A synthetic approach to interactions in plant communities. **Ecology**, v. 78, n. 7, p.1958-1965, 1997.

CANTO, J. L. et al. Avaliação de um sistema de cavaqueamento de ponteiros de eucalipto para aproveitamento energético. **Revista Árvore**. v. 35 n. 36, p. 1327-1334, 2011.

CARNEIRO, A. C. O. et al. Potencial energético da madeira de *Eucalyptus* sp. em função da idade e de diferentes materiais genéticos. **Revista Árvore**. v. 38, n. 2, p. 375-381, 2014.

CARON, B. O. et al. Quantificação da Biomassa florestal em plantios de curta rotação com diferentes espaçamentos. **Comunicata Scientiae**, v. 6, n. 1, p. 106-112, 2015.

CASAROLI, D. et al. Aptidão edafoclimática para o mogno-africano no Brasil. **Ciência Florestal**, v. 28, p. 357-368, 2018.

CASSOL, H. L. G. **Estimativa de biomassa e estoque de carbono em fragmento de floresta ombrófila mista com uso de dados ópticos de sensores remotos**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, p. 143. 2013.

CASTRO A. C. et al. Sistema silvipastoril na Amazônia: ferramenta para elevar o desempenho produtivo de búfalos. **Ciência Rural**. v. 38, n. 8, p. 2395-2402, 2008.

CAVALCANTI, C. et al. 135 - Programa de apoio ao desenvolvimento sustentável da Zona da Mata de Pernambuco - PROMATA. **Textos para Discussão - TPD**, [S.l.], 2002. Disponível em: <https://periodicos.fundaj.gov.br/TPD/article/view/938>. Acesso em: 12 out. 2021.

CHAVE, J. et al. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. **Oecologia**, v. 145, n. 1, p. 87-99, 2005.

CNA/Serviço Nacional de Aprendizagem Rural- SENAR. **Banana – Fruta é cultivada em todos os estados**. Disponível em: <<https://www.cnabrazil.org.br/noticias/dia-da-banana-fruta-e-cultivada-em-todos-os-estados>>. Acesso em: 08 dez. 2021.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS-CPRM. Diagnóstico do município de Gravatá. Recife: **CPRM- Serviço Geológico do Brasil**, 2005, 21p.

CONAB. 2021. **boletim da safra de grãos**. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/3989-producao-de-graos-tem-previsao-de-aumento-de-5-7-chegando-a-271-7-milhoes-de-toneladas>>. Acesso em: 08 dez. 2021.

COUTINHO, V. M. et al. Equações tradicionais e simultâneas para biomassa de compartimentos aéreos de *Cryptomeria japonica* (LF) D. Don. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 35, n. 1, p. 58-75, 2017.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de São Bento do Una, estado de Pernambuco**. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005. 12 p.

CRUZ, J. C. et al. Produção de milho na agricultura familiar. Sete Lagoas: **Embrapa Milho e Sorgo**, 2011. 45 p.

DEVKOTA, N. R. et al. Relationship between tree canopy height and the production of pasture species in a silvopastoral system based on alder trees. **Agroforestry Systems**, n. 76, p. 363-364, 2009.

DO CARMO, R. F. et al. Desenvolvimento inicial de *Khaya ivorensis* em plantio irrigado. **Nativa**, v. 6, n. 2, p. 159-164, 2018.

DRAPER, N.; SMITH, H. **Applied Regression Analysis**. 3. ed. New York, USA: John Wiley e Sons, 1998. 736 p.

ELOY, E. et al. Influência do espaçamento nas características energéticas de espécies arbóreas em plantios de curta rotação. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 38, n. 3, p. 551-559, 2014.

ELOY, E. **Produção e qualidade da biomassa de florestas energéticas no norte do Rio Grande do Sul**. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná. Curitiba, p. 157. 2015.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Manual of forest inventory, with special reference to mixed tropical forest. Roma, 1973. 200p.

FAO. 2017. Organização das Nações Unidas para a alimentação e a Agricultura-Acessado em: <<http://www.fao.org/brasil/noticias/detail-events/pt/c/992186/>>. Accessed May 2019).

FAO. 2018. **The State of the World's Forests 2018 - Forest pathways to sustainable development**. Rome. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.

FERRAZ FILHO, A. C. et al. African Mahogany Plantation Highlights in Brazil. **Floresta e Ambiente**, v. 28, n. 3, 2021.

FIORAVANÇO, J. C. Mercado mundial da banana: produção, comércio e participação brasileira. **Informações econômicas**, v. 33, n. 10, p. 15-27, 2003.

FRANÇA, T. S. F. A. et al. Características anatômicas e propriedades físico-mecânicas das madeiras de duas espécies de mogno-africano. **Cerne**, v. 21, n. 4, p. 633-640, 2015.

FREITAS, E. C. S. et al. Deposição de serapilheira e de nutrientes no solo em sistema agrossilvipastoril com eucalipto e acácia. **Revista Árvore**, v. 37, n. 3, p. 409-417, 2013.

GASPAROTTO, L. G.; PEREIRA, J. C. R. **A cultura da bananeira na região Norte do Brasil**. Embrapa Informação Tecnológica; Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2010.

GEA-IZQUIERDO, G.; MONTERO, G.; CANELLAS, I. Changes in limiting resources determine spatio-temporal variability in tree-grass interactions. **Agroforestry Systems**, v. 76, n. 2, p. 375-387. 2009.

GILLESPIE, A. R. et al. Defining competition vectors in a temperate alley cropping system in the mid-western USA: 1. Production physiology. **Agroforestry Systems**, v. 48, n. 1, p. 61-77, 2000.

GIUNTI NETO, C. J. et al. Calibration of two indirect methods for estimating the leaf area index in *Eucalyptus* plantations. **Scientia Forestalis**, v. 43, n. 108, p. 919-930, 2015.

GOMES, A. M. A. **Medição dos arvoredos**. Lisboa: Livraria Sá da Costa, 1957. 413 p.

GONÇALVES, J. L. M et al. Eucalypt plantation management in regions with water stress. **Southern Forests: A Journal of Forest Science**, v. 79, n. 3, p. 169-183, 2017.

GONÇALVES, P. S. et al. Age-age correlation for early selection of rubber tree genotypes in São Paulo State, Brazil. **Genetics and Molecular Biology**, v. 28, p. 758-764, 2005.

HAKAMADA, R. E. et al. Uniformidade entre árvores durante uma rotação e sua relação com a produtividade em *Eucalyptus* clonais. **Cerne**, v. 21, p. 465-472, 2015.

IBGE. PEVS – Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura, 2019. BRASIL: IBGE, 2020. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pevs/quadros/brasil/2019>. Acesso em: 5 out. 2020.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório Anual 2019**. Brasília: Studio 113, 2019. 80 p. Disponível em: <https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/iba-relatorioanual2019.pdf>. Acesso em: 12 out. 2019.

IUCN. International Union for Conservation of Nature and Natural Resources. IUCN Red List. Cambridge, [2018]. Disponível em: Acesso em: 20 set. 2019.

JESUS, C. M. et al. Funções de densidade de probabilidade para estimativa das distribuições de variáveis dendrométricas em um povoamento clonal de eucalipto. **Revista Espacios**. v. 38, n. 16, p. 30, 2017.

KLEIN, D. R. et al. Aspectos gerais e silviculturais de *Cordia americana*, *Aspidosperma polyneuron*, *Toona ciliata* e *Khaya* spp. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 15, n. 2, p. 155-164, 2016.

KUTNER, M. H.; NACHTSHEIM, C.; NETER, J. **Applied linear regression models**. 5. ed. New York: McGraw-Hill/Irwin, 2004. 1415 p.

LEITE, H. G., OLIVEIRA, F. H. T.. Statistical procedure to test identity between analytical methods. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 33, n. 7-8, p. 1105-1118, 2006.

LIMA, M. C. D.; GAMA, D. C. O Sistema de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta no Brasil: Conceitos, Desafios E Novas Perspectivas. **Agroforestalis News**, v. 3, n. 1, p. 31-51, 2018.

LIMA, S. S. et al. Teores de nutrientes da serapilheira e do solo sob sistema agroflorestal em área de transição no norte do Piauí. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 2, n. 2, p. 1034-1037, 2007.

LUNDGREN, W. J. C.; SILVA, J. A. A.; FERREIRA, R. L. C. Estimação do Volume de Eucaliptos por Krigagem e Cokrigagem no Semiárido Pernambucano. **FLORAM**, v. 24, 2017.

MACEDO, R. L. G.; VALE, A. B.; VENTURIN, N. Eucalipto em sistemas agroflorestais. **Lavras: Ed. da UFLA**, 2010. 331 p.

MACHAVA, C. D. A. **Modelagem dinâmica do desmatamento na província de Manica – Moçambique**. Dissertação (Mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências. Minas Gerais, p. 74. 2020.

MAGALHÃES, T. M.; SEIFERT, T. Tree component biomass expansion factors and root-to-shoot ratio of lebombo ironwood: measurement uncertainty. **Carbon Balance and Management**, v. 10, n. 9, p. 2-14, 2015.

MAGIERO, E. C. et al. Efeito alelopático de *Artemisia annua* L. na germinação e desenvolvimento inicial de plântulas de alface (*Lactuca sativa* L.) e leiteiro (*Euphorbia heterophylla* L.). **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 11, n. 3, p. 317-324, 2009.

MARTINELLI, L. A. et al. Incertezas associadas às estimativas de biomassa em florestas tropicais. Seminário emissão x sequestro de CO₂ – uma nova oportunidade de negócios para o Brasil, Rio De Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: CURD, p. 197-221, 1994.

MEDEIROS, P. L. **Produção, alocação de biomassa e aspectos nutricionais de um clone de eucalipto em função da densidade de plantio, na região litorânea do RN**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Macaíba, p. 47, .018.

MELO LIMA, V. Y.; ARAÚJO, A. L. D.; AMARO, M. A. Ajuste de equações hipsométricas, volumétricas, de biomassa e carbono do fuste de árvores utilizadas na arborização urbana no Parque da Maternidade em Rio Branco-Acre. **Scientia Naturalis**, v. 2, n. 2, 2020.

MILLER, A. W.; PALLARDY, S. G. Resource competition across the crop-tree interface in a maize-silver maple temperate alley cropping stand in Missouri. **Agroforestry Systems**, v. 53, n. 3, p. 247-259. 2001.

MONTEIRO, A. A. et al. Características da produção leiteira da região do agreste do estado de Pernambuco, Brasil. Semina: **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 28, n. 4, p. 665-674, 2007.

MOREIRA, J. M. M. Á. P.; SIMIONI, F. J.; OLIVEIRA, E. B. Importância e desempenho das florestas plantadas no contexto do agronegócio brasileiro. **Floresta**, v. 47, n. 1, p. 85-94, 2017.

NAIR, P. K. R. **An introduction to agroforestry**. Springer Science & Business Media, 1993.

NETER, J.; WASSERMAN, W.; KUTNER, M. H. **Applied linear statistical models**. 4. ed. Homewood, Illinois: Irwin, 1996. 561 p.

NICOLETTI, M. F. et al. Quantificação do fator de forma por meio de diferentes métodos de cubagem em *Pinus taeda* L. **Scientia Forestalis**, v. 49, n. 131, p. 3504, 2021.

NIKIEMA A. P. D. *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss. In: LOUPPE, D.; OTENG-AMOAKO A. A, BRINK M (eds) Plant resources of tropical Africa. PROTA Foundation, **Wageningen**, v. 7, p. 339-344, 2008.

NIKLES, D. G.; REILLY, D. F.; DICKINSON, G. R.; LEE, D. J. African mahogany (*Khaya senegalensis*) plantations in Australia-status, needs and progress. **Department of Agriculture, Fisheries and Forestry**, p. 1-11, 2012.

NOGUEIRA, L. A. H.; LORA, E. E. S. **Dendroenergia: fundamentos e aplicações**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2003. 199 p.

OLIVEIRA NETO, S. N. et al. Crescimento e distribuição diamétrica de *Eucalyptus camaldulensis* em diferentes espaçamentos e níveis de adubação na região de Cerrado de Minas Gerais. **Floresta**, v. 40, n. 4, 2010.

OLIVEIRA, E. et al. Estrutura anatômica da madeira e qualidade do carvão de *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir. **Revista Árvore**. v. 30, n. 2, p. 311-318, 2006.

OLIVEIRA, X. M. et al. Volume equations for *Khaya ivorensis* A. Chev. plantations in Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 90, n. 4, p. 3285-3298, 2018.

ONG, C.K; H. HUXLEY [ed.]. **Tree – Crop Interactions. A Physiological approach**. CAB INTERNATIONAL, Wallingford, UK, 1996. 385 p.

OPOKU, S. M. **Growth and productivity of *Khaya grandifoliola* in the dry semi-deciduous forest of Ghana: a comparison in pure stands and in mixed stands**. 2012. Tese (Doutorado em Kwame Nkrumah University of Science and Technology) - Forestry Research Institute of Ghana. Ghana, p. 36. 2012.

PEREIRA FILHO, G. M. **Qualidade em povoamento de eucalipto: índice de uniformidade, época do replantio e relação entre o alto fuste e a talhadia**. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, p. 50. 2016.

PEREIRA, I. M. L. et al. Composição florística e análise fitossociológica do componente arbustivo-arbóreo de um remanescente florestal no Agreste Paraibano. **Acta Botânica Brasileira**, v. 16, n. 3, p. 357-369, 2002.

PINHEIRO, A. L. et al. Ecologia, silvicultura e tecnologia de utilização dos mognos-africanos (*Khaya* spp.). Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Agrossilvicultura, p. 102, 2011.

QURESHI, A. et al. A review of protocols used for assessment of carbon stock in forested landscapes. **Environmental Science & Policy**, v. 16, p. 81-89, 2012.

R Development core team. 2019. R: Language and environment for statistics. computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <http://www.R-project.org>. 2019.

REIS, C. F.; OLIVEIRA, E. B.; SANTOS, A. M. Mogno-africano (*Khaya* spp.): Atualidades e perspectivas do cultivo no Brasil. **Embrapa Florestas-Livro científico (ALICE)**, 378 p. 2019.

REYNOLDS, P. E. et al. Effects of tree competition on corn and soybean photosynthesis, growth, and yield in a temperate tree based agroforestry intercropping system in southern Ontario, Canada. **Ecological Engineering**, n. 29, p. 362-371, 2007.

RIBEIRO, A.; FERRAZ, A. C.; SCOLFORO, J. R. S. O cultivo do mogno africano (*Khaya* spp.) e o crescimento da atividade no Brasil. **Brazilian Journal of Forestry and Environment**, v. 24, 2017.

RIEGELHAUPT, E. M.; PAREYN, F. G. C. A questão energética e o manejo florestal da Caatinga. In: GARIGLIO, M. A. et al. (Org.). **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da caatinga**. Brasília: Serviço Florestal Brasileiro, 2010.

SALATI, E. Emissão x sequestro de CO₂ – uma nova oportunidade de negócios para o Brasil. In: SEMINÁRIO EMISSÃO X SEQUESTRO DE CO₂ – UMA NOVA OPORTUNIDADE DE NEGÓCIOS PARA O BRASIL, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: CVRD, p. 15-37, 1994.

SALES, A. et al. Desempenho do mogno-africano (*Khaya ivorensis* A. Chev.) no sistema ILPF em Terra Alta - PA. In: SIMPÓSIO DE ESTUDOS E PESQUISAS EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS NA AMAZÔNIA, 6., 2017, Belém. **Anais...** Belém: UEPA, v. 1, p. 29-34, 2017.

SALGADO, B. G. **Caracterização de sistemas agroflorestais com cafeeiro em Lavras - MG**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras. Lavras, p. 115. 2004.

SANQUETTA, C. R.; CORTE, A. P.; SILVA, F. Biomass expansion factor and root-to-shoot ratio for pinus in brazil. **Carbon Balance and Management**, v. 6, n. 6, p. 1-8, 2011.

SCHEMBERGUE, A. et al. Sistemas agroflorestais como estratégia de adaptação aos desafios das mudanças climáticas no Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 55, n. 1, p. 9-30, 2017.

SCHNEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P. S. P.; SOUZA, C. A. M. **Análise de regressão aplicada à Engenharia Florestal**. 3. ed. Santa Maria: UFSM, CEPEF; 2009.

SCHWERZ, F. et al. Reduced planting spacing increases radiation use efficiency and biomass for energy in black wattle plantations: Towards sustainable production systems. **Biomass and Bioenergy**, v. 120, p. 229-239, 2019.

SCOLFORO, J. R. S.; FIGUEIREDO FILHO, A. Mensuração florestal 2: volumetria. Lavras: ESAL/FAEPE, 1993. 126p.

SCOLFORO, J. R. S.; MELLO, J. M.; ALMEIDA LIMA, C. S. Obtenção de relações quantitativas para estimativa de volume do fuste em floresta estacional semidecídua montana. **Cerne**, v. 1, n. 1, p. 123-134, 1994.

SEGHESE, M. A. Sistemas Agroflorestais: Sistemas de produção Agrossilvipastoril diversificado, integrado, sustentável e orgânico; Sete Barras-Vale do Ribeira – São Paulo Novembro / 2006, p. 206.

SENAR – Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. Sistemas Agroflorestais (SAFs): conceitos e práticas para implantação no bioma amazônico/ Serviço Nacional de Aprendizagem Rural (SENAR). — 1. ed. Brasília: SENAR, 2017. 140 p. il. ISBN 978-85-7664-175-9 1. Sistema agroflorestal. 2. Sistema agroflorestal, bioma amazônico. II. Título. CDU 634.0.23.

SILVA JUNIOR, J. F.; LOPES, G. M. B.; FERRAZ, L. G. B. Sistema de produção de banana para a Zona da Mata de Pernambuco. Embrapa Tabuleiros Costeiros-Sistema de Produção (INFOTECA-E), 2010.

SILVA, A. R. et al. Comportamento da espécie mogno africano (*Khaya Ivorensis*) em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta no município de Paragominas-PA. In: Embrapa Amazônia Oriental-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 8., 2011, Belém, PA. **Anais...** Belém, PA: SBSAF: Embrapa Amazônia Oriental: UFRA: CEPLAC: EMATER: ICRAF, 2011.

SILVA, B. C. S. **O polo moveleiro de Gravatá e o universo pop da Disney sob o olhar do designer de moda.** Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Design) – Universidade Federal de Pernambuco. Caruaru, p. 122. 2017.

SILVA, J. W. L. Modelagem da biomassa e da quantidade de carbono de clones de *Eucalyptus* da Chapada do Araripe-PE. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Florestal) – Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, p. 88. 2016.

SILVA, M. C. et al. Volume, funções probabilísticas e produtividade em plantio de *Calophyllum brasiliense* no município de Dueré (TO). **Advances in Forest Science**, v. 6, n. 2, p. 631-638, 2019.

SILVEIRA P, et al. O estado da arte na estimativa de biomassa e carbono em formações florestais. **Floresta**, v. 38, n. 1, p. 185-206, 2008.

SILVEIRA, P. Ajuste de modelos matemáticos para estimar biomassa aérea em floresta ombrófila densa. **Floresta**, v. 39, n. 4, p. 743-752, 2009.

SILVEIRA, P. Estimativa da biomassa e carbono acima do solo em um fragmento de floresta ombrófila densa utilizando o método da derivação do volume comercial. **Floresta**, v. 40, n. 4, 2010.

SOMOGYI, S. et al. Spatial memory streaming. **ACM SIGARCH Computer Architecture News**, v. 34, n. 2, p. 252-263, 2006.

SOUZA, A. L.; SOARES, C. P. B. Florestas nativas: estruturas, dinâmica e manejo. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2013. 322p.

STAPE, J. L. et al. The Brazil Eucalyptus potential productivity project: influence of water, nutrients and stand uniformity on wood production. **Forest Ecology and Management, Amsterdam**, v. 259, n. 9, p. 1686-1694, 2010.

TABARUSSI, E.V. et al. Estimativas de parâmetros genéticos para a seleção precoce em clones de Eucalyptus spp. **Scientia Forestalis/Forest Sciences**, v. 45, n. 115, 2017.

TREVISAN, L. F. A.; DA SILVA, S. M.; RODRIGUES, O. G. Contribuição dos Sistemas Agrosilvopastoris na Captação de Carbono. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 9, n. 3, 2010.

VERES, Q. J. I.; WATZLAWICK, L. F.; SILVA, R. A. R. Estimativas de biomassa e carbono em fragmento de floresta estacional semidecidual no oeste do Paraná. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 5, n. 1, p. 23-31, 2019.

VIEIRA, T. A. et al. Sistemas agroflorestais em áreas de agricultores familiares em Igarapé-Açu, Pará: Caracterização florística, implantação e manejo. **Acta Amazonica**, v. 37, n. 4, p. 549-558, 2008.

VILLELA REIS, Luciano Helvecio et al. Morphometric characterization of *Khaya senegalensis* in southern Minas Gerais State, Brazil. **SCIENTIA FORESTALIS**, v. 49, n. 131, 2021.

WINCK, R. A. et al. Modelos predictivos de biomassa aérea de *Eucalyptus grandis* para el noreste de Argentina. **Ciência Florestal**, v. 25, p. 595-606, 2015.

WORLD WIDE FUND FOR
NATURE. https://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/reducao_de_impactos2/agricultura/agr_acoes_resultados/colaboracao_para_florestas_e_agricultura_cfa/

YETTI, H. et al. Growth performance and biomass accumulation of a *Khaya ivorensis* plantation in three soil series of ultisols. **American Journal of Agricultural and Biological Sciences**, v. 6, n. 1, p. 33-44, 2011.