



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA FLORESTAL - DCFL
BACHARELADO EM ENGENHARIA FLORESTAL

KAMILO ALABOODI DA SILVA

Abordagem comparativa entre a aplicação da metodologia KATAM™ e inventário tradicional em plantios de *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss

RECIFE – PE

2023

Abordagem comparativa entre a aplicação da metodologia KATAM™ e inventário tradicional em plantios de *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss

Monografia apresentada ao curso de Bacharelado em Engenharia Florestal da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte das exigências para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador: Profº. Dr. Emanuel Araújo Silva

Coorientador: Profº. Dr. Rodrigo Eiji Hakamada

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)

- S586a Silva, Kamilo Alaboodi da
Abordagem comparativa entre a aplicação da metodologia KATAM™ e inventário tradicional em plantios de *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss / Kamilo Alaboodi da Silva. - 2023.
42 f. : il.
- Orientador: Emanuel Araujo Silva.
Coorientador: Rodrigo Eiji Hakamada.
Inclui referências.
- Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal Rural de Pernambuco,
Bacharelado em Engenharia Florestal, Recife, 2023.
1. Inventário Florestal. 2. Inteligência Artificial. 3. Digitalização. 4. Tecnologias KATAM™. 5. Rendimento Operacional. I. Silva, Emanuel Araujo, orient. II. Hakamada, Rodrigo Eiji, coorient. III. Título

CDD 634.9

KAMILO ALABOODI DA SILVA

Abordagem comparativa entre a aplicação da metodologia KATAM™ e inventário tradicional em plantios de *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss

Aprovado em: 15 de setembro de 2023

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Fernando Henrique de Lima Gadelha
Instituto Federal de Pernambuco/IFPE

Ms. Duberli Elera Gonzales
Departamento de Ciência Florestal/UFRPE

Prof. Dr. Emanuel Araújo Silva
Departamento de Ciência Florestal/UFRPE

Prof. Dr. Rodrigo Eiji Hakamada
Departamento de Ciência Florestal/UFRPE

RECIFE – PE

2023

“Entrega o teu caminho ao Senhor; confia nEle e Ele tudo fará.”

Salmos 37: 5

AGRADECIMENTOS

Sou grato, primeiramente, à Santíssima Trindade, Deus, Jesus e o Espírito Santo – autores do meu destino e razão da minha vida – onde pude buscar conforto nos momentos mais difíceis e compartilhar alegrias. Agradeço pelo dom da vida, pela misericórdia divina, pela graça da sabedoria e resiliência concedidas, as quais me formaram nas dificuldades encontradas.

A Nossa Senhora, em especial, pelo acalento materno e cuidados. Sou grato pelo zelo durante toda a caminhada, nas idas e vindas, pois sei que estavas com o seu manto sagrado a me proteger e amar.

A toda minha família, em particular a minha mãe Eliane, minha tia Ednalda (Dada), as quais me deram total suporte para que eu pudesse alcançar meus objetivos na graduação. Um agradecimento especial a minha querida avó Benedita, em sua simplicidade, pelos conselhos e orações. Eu amo vocês.

Agradeço, de maneira ímpar a minha amiga, companheira e namorada Palloma Alves, por se fazer presente nos momentos alegres e, principalmente, onerosos durante os anos de graduação. Obrigado pelas palavras de incentivo e por acreditar na minha capacidade. Seu amor, conforto, conselhos e orações foram essenciais para que eu pudesse concluir esta etapa da minha vida. Eu amo muito você.

Aos meus sogros, Paulo César e Maria Sônia, bem como a minha tia Elza, pelas palavras de sabedoria, perseverança e orações que me guiaram para ser uma pessoa e profissional cada vez melhor.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco e ao Departamento de Ciência Florestal pela formação, ensinamentos e experiências adquiridas durante a graduação.

Ao Grupo de Práticas Florestais (GPFlor) da Universidade Federal Rural de Pernambuco, pelas oportunidades de vivenciar a minha profissão através de desafios práticos que moldaram o profissional que sou hoje.

A turma 2018.1, por todas as risadas e estudos em conjunto, e aos colegas de jornada, em especial Jonatas Carlos e Lorena Pulina, a “turma do uber”, aos quais compartilhei caronas e vivências. Gratidão também pelo suporte na coleta dos dados deste trabalho.

Ao meu orientador professor Emanuel Araújo, pelo acolhimento no início do curso no Laboratório de Sensoriamento Remoto (LASER), pela paciência e por sempre acreditar em mim. Aquele por que tenho total apreço e inspiração.

Ao meu coorientador professor Rodrigo Eiji Hakamada, pelos conselhos e incentivos, me impulsionando a sempre buscar fazer meu trabalho com dedicação. Agradeço pela confiança, pela motivação à buscar atividades práticas, vivências fora da universidade e pelo estímulo a buscar preencher a minha “caixinha de ferramentas”. Aquele por quem tenho genuína admiração e inspiração profissional. Grande mentor!

Ao professor Fernando Gadelha, quem me orientou, incentivou e inspirou por primeiro – ainda no curso Técnico em Meio Ambiente – a seguir na área florestal. Com o senhor senti as primeiras sensações da profissão, as quais me motivaram a seguir nessa jornada tão linda da engenharia florestal.

À professora Rute Berger, pelas primeiras noções de manejo e inventário florestal, compartilhando ensinamentos por dois anos de iniciação científica, os quais jamais esquecerei.

À equipe da KATAM: Anton Holmström, Gustavo Fedrizzi, Heloise Dambrat, Luiza Federici, Magnus Karlson, Patricia Fedrizzi, Rafael Micheli e Vinicius Gris com a qual tive o prazer de trabalhar e compartilhar experiências e conhecimento.

A todos que de alguma maneira contribuíram para que eu chegasse até aqui, minha sincera gratidão!

“Justificados, pois, pela fé temos a paz com Deus, por meio de nosso Senhor Jesus Cristo. Por Ele é que tivemos acesso a essa graça, na qual estamos firmes, e nos gloria-mos na esperança de possuir um dia a glória de Deus. Não só isso, mas nos gloriamos até das tribulações. Pois sabemos que a tribulação produz a paciência, a paciência prova a fidelidade e a fidelidade, comprovada, produz a esperança. E a esperança não engana. Porque o amor de Deus foi derramado em nossos corações pelo Espírito Santo que nos foi dado.”

Romanos 5: 1-5

RESUMO

O inventário florestal auxilia gestores de floresta nas tomadas de decisões. A instalação, mensuração e gestão de uma rede de parcelas de inventário é onerosa e despende tempo. Técnicas de sensoriamento remoto ganham cada vez mais espaço no setor florestal por terem o potencial de redução de custos sem incorrer em perdas de precisão, porém, com baixa adesão em decorrência do elevado investimento. Nesse contexto, a empresa sueca Katam Technologies desenvolveu uma solução para aquisição e análise de dados florestais: KATAM™ Forest, que funciona através do algoritmo *KASLAM*, ainda pouco difundido e testado em florestas nacionais. Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo comparar, em termos de acurácia e rendimento operacional, a aplicação da inteligência artificial *KASLAM* através do aplicativo KATAM™ Forest na atividade de inventário florestal em plantios de *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss (5 anos), localizado no estado de Pernambuco, com as técnicas de amostragem de um inventário florestal realizado de forma tradicional. Foram coletados dados de diâmetro à altura do peito (DAP) dentro de 9 parcelas, bem como vídeos com a inteligência artificial, gravados dentro das coordenadas das unidades amostrais. Foi realizada a estatística descritiva dos dados de DAP das parcelas e em seguida foi aplicado um teste paramétrico de normalidade de Shapiro-Wilk, onde, ao ser rejeitada hipótese de nulidade, seria necessária a realização de um teste não-paramétrico U de Mann-Whitney para entender a diferença de médias. O rendimento operacional foi avaliado através dos dados de tempo obtidos durante o processo de inventário dentro das parcelas em ambas as abordagens. A variável DAP nas duas metodologias de inventário não tem uma distribuição clara concentrada perto da média. O teste não-paramétrico resultou que médias obtidas do DAP não apresentaram diferenças estatísticas entre as metodologias ao nível de 5% de significância. O rendimento operacional da metodologia Katam foi metade do tempo do inventário tradicional. As tecnologias Katam são bastante promissoras, no sentido de redução de tempo e custos nas operações de inventário florestal. Portanto, recomenda-se maiores estudos para que o assunto seja difundido de maneira prática.

Palavras-chave: Inventário Florestal; Inteligência Artificial; Digitalização; Tecnologias KATAM™; Rendimento Operacional.

ABSTRACT

The forest inventory helps forest managers taking decisions. Installing, measuring and managing a network of inventory plots is a costly and time-consuming activity. The remote sensing techniques are increasingly gaining ground in the forestry sector because they have the potential to reduce costs without incurring any loss of precision, but they are not widely used due to their high cost. In this context, the Swedish company Katam Technologies has developed a solution for acquiring and analyzing forest data: KATAM™ Forest, which works using the *KASLAM* algorithm, which has not yet been widely used and tested in national forests. The goal of this study was to compare, in terms of accuracy and operational performance, the application of *KASLAM* artificial intelligence through the KATAM™ Forest application in forest inventory activities in *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss plantations (5 years old), located in the state of Pernambuco, with the sampling techniques of a traditional forest inventory. Diameter at breast height (DBH) data was collected within 9 plots, as well as videos with artificial intelligence, recorded within the coordinates of the sampling units. Descriptive statistics were performed on the DBH data by plot, followed by the parametric Shapiro-Wilk normality test, where, if the null hypothesis was rejected, a non-parametric Mann-Whitney U test was required to understand the difference in averages. Operational performance was assessed using the time data obtained during the inventory process within the plots in both approaches. The DBH variable in the two inventory methodologies does not have a clear distribution concentrated close to the mean. The non-parametric test resulted in the averages obtained for DBH not showing statistical differences between the methodologies at the 5% significance level. The operational performance of the Katam methodology was half of the traditional inventory. The Katam technologies are very promising in terms of reducing time and costs in forest inventory operations. Therefore, further studies are recommended so that the subject can be disseminated in a practical way.

Keywords: Forest Inventory; Artificial Intelligence; Digitization; KATAM™ Technologies; Operational Yield.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização do plantio de <i>Khaya senegalensis</i> , objeto do presente estudo.	24
Figura 2: Alinhamento e sub bosque no plantio de <i>Khaya senegalensis</i> objeto do presente estudo.	25
Figura 3: Metodologia de gravação de vídeo do aplicativo KATAM™ Forest.	26
Figura 4: Coleta dos diâmetros pelo aplicativo KATAM™ Forest na profundidade fixa.	27
Figura 5: Fluxograma para decisão do teste de comparação de médias.	29
Figura 6: Captura de tela do aplicativo KATAM™ Forest mostrando a altura onde o DAP foi mensurado nas árvores a partir da identificação do chão da floresta.	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Estatísticas descritivas dos valores de DAP no povoamento de <i>Khaya senegalensis</i>	29
Tabela 2: : Resultados dos testes de hipótese das médias das amostras entre os métodos pelo DAP estimado pelo aplicativo em comparação do IFT.	31
Tabela 3: Intensidade amostral obtida por cada abordagem de inventário.....	35

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ALS	- <i>Airborne Laser Scanning</i>
CNN	- <i>Convolutional Neural Network</i>
DAP	- Diâmetro à Altura do Peito
GPS	- Sistemas de Posicionamento Global
HSR	- <i>High Spatial Resolution</i>
IA	- Inteligência Artificial
IFT	- Inventário Florestal Tradicional
KASLAM	- <i>Katam Simultaneous Localization and Mapping</i>
LiDAR	- Light Detection and Ranging
RA	- Realidade Aumentada
SLAM	- <i>Simultaneous Localization and Mapping</i>
SIG	- Sistemas de Informações Geográficas
SR	- Sensoriamento Remoto
TLS	- <i>Terrestrial Laser Scanning</i>
VANT	- Veículo Aéreo Não Tripulado
VHSR	- <i>Very High Spatial Resolution</i>

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 Inventário Florestal Tradicional (IFT) e Tecnologias de Sensoriamento Remoto	16
2.1.1 Definição e características gerais	16
2.1.2 Sensoriamento Remoto aplicado ao inventário.....	17
2.2 Tecnologia KATAM™ e sua aplicação em florestas	18
2.3 Florestas Plantadas Brasileiras e Silvicultura de Precisão	19
2.3.1 Florestas Plantadas	19
2.3.2 <i>Khaya senegalensis</i> e suas aplicações	20
2.3.3 Silvicultura de precisão	21
3.OBJETIVOS	22
3.1 Objetivo geral	22
3.1 Objetivos específicos.....	22
4. JUSTIFICATIVA	23
5. METODOLOGIA/MATERIAL E MÉTODOS	23
5.1 Caracterização das áreas de estudo	23
5.2 Histórico da área	24
5.3 Coleta de dados – Inventário com KATAM™ Forest	25
5.4 Coleta de dados – Inventário florestal tradicional	27
5.5 Comparação em termos de rendimento	28
5.6 Análises estatísticas para comparação das abordagens.....	28
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
6.1 Estatística descritiva	29
6.2 Teste de normalidade	31
6.3 Teste não-paramétrico.....	32
6.4 Rendimento operacional.....	33
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	35
7.1 Recomendações para trabalhos futuros	37
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37

1. INTRODUÇÃO

Na década de 70, foi introduzida na região norte do Brasil o mogno africano, espécie exótica pertencente à família Meliaceae. No mercado nacional, a *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss, por possuir madeira nobre, considerada de alto valor agregado devido às suas características tecnológicas e à beleza de sua composição, se destaca no setor comercial florestal de maneira consolidada por apresentar relevância no contexto econômico.

Na cadeia produtiva industrial, diversos produtos são advindos da madeira do mogno, a qual é utilizada como matéria-prima, tendo, por exemplo, o segmento moveleiro, da construção civil e naval, como formas de aplicação. Além disso, a introdução da espécie exótica em florestas plantadas apresenta-se uma alternativa interessante visando a redução da exploração ilegal de florestas nativas, e por não denotar nenhuma restrição ambiental para plantio. (CAMPELO et al., 2023; SOUZA et al., 2019)

O setor florestal possui grande relevância no contexto econômico nacional ao fornecer matéria-prima para o abastecimento de vários produtos da indústria. Nesse sentido, tal setor é considerado essencial para o desenvolvimento de uma sociedade que visa alcançar uma economia mais sustentável, tendo as florestas plantadas como base da cadeia produtiva do mesmo (RAMOS et al., 2018).

Somado a isso, buscando potencializar o manejo dos recursos florestais, as empresas adotam a metodologia de amostragem pelo inventário florestal, que é uma ferramenta de suma importância para aquisição de dados e informações qualitativas e quantitativas em áreas de floresta plantadas, auxiliando na tomada de decisões (LATIFI; HEURICH, 2019).

Contudo, mesmo se tratando de uma atividade baseada em uma amostra da população, o inventário florestal, lastreado no método tradicional — Instalação de parcelas permanentes, medições com equipamentos que demandam mais de um trabalhador em campo —, ainda representa uma operação onerosa, pois necessita de uma grande quantidade de trabalho *in loco* por longos intervalos de tempo, custos logísticos e passíveis de erros manuais de operação. Atualmente, as empresas de base florestal buscam alternativas para viabilizar as atividades de inventário, incluindo

maior agilidade na mensuração das florestas e diminuição dos custos relacionados à redução da mão de obra (GASPAROTO, 2017).

Alinhado a isto, através do avanço da tecnologia, novas metodologias de mensuração, como o sensoriamento remoto e sensores LiDAR, surgem como alternativa potencial aos inventários florestais, visando trazer maior eficiência operacional na obtenção de dados e facilitar a realização dos processos de medição, entregando informações confiáveis em menor tempo (LIANG et al., 2019; FANKHAUSER et al., 2018). Por outro lado, ainda que diante de vastas possibilidades de aplicações das tecnologias de sensoriamento remoto para otimizar as atividades de mensuração florestal, há pouca aderência das empresas nessa questão, principalmente devido ao elevado custo para adquirir tais tecnologias e baixa entrega operacional (GASPAROTO, 2017).

Diante desse cenário de mercado, a empresa sueca Katam Technologies desenvolveu duas soluções com o objetivo de entregar maior eficiência operacional no campo através de uma coleta de dados robustos, bem como proporcionar maior poder de decisão em plantios florestais, ou seja, maior eficiência com melhor custo-benefício. Sua tecnologia está dentro da realidade das ferramentas acessíveis a maioria das empresas e proprietários florestais, como *smartphones*, GoPros e *drones* de câmera óptica.

Tendo como principal inovação disponibilizada pela empresa, o KATAM™ Forest, solução utilizada no presente estudo, necessita apenas de um *smartphone* para realizar coletas de vídeos na área de interesse e, posteriormente, processá-los em um programa *Simultaneous Localization and Mapping* (SLAM). Este é responsável por criar uma nuvem de pontos 3D, em que, junto às *Convolutional Neural Network* (CNN), detecta as árvores nos vídeos e coleta variáveis de interesse (TÄLL, 2020).

A segunda é a solução KATAM™ TreeMap, onde a partir de imagens aéreas obtidas com Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) ou imagens de satélite, obtém a altura individual de todas as árvores do talhão, bem como o número árvores por hectare. Nesse sentido, hoje há duas abordagens possíveis na aplicação das soluções KATAM™, sendo possível a utilização individual ou simultânea.

A princípio, as tecnologias foram desenvolvidas para serem aplicadas em florestas nórdicas de *Picea* spp. e *Pinus* spp., gêneros nativos e comumente

manejados para produção madeireira (TÄLL, 2020). Com isso, devido às distintas condições entre as florestas nórdicas e brasileiras, sejam com espécies nativas ou exóticas, a aplicação das soluções KATAM™ no Brasil é ainda recente, embora apresente potencial.

Diante do exposto, é imperioso a realização de trabalhos que monitorem a produtividade destes plantios, fornecendo dados que suportem a tomada de decisões no planejamento florestal. Com isso, o objetivo deste trabalho foi comparar e avaliar a acurácia e rendimento operacional em um plantio jovem de mogno africano através do inventário realizado em sua maneira tradicional com a metodologia KATAM™.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Inventário Florestal Tradicional (IFT) e Tecnologias de Sensoriamento Remoto

2.1.1 Definição e características gerais

O inventário florestal, por definição, é a observação periódica de variáveis selecionadas para quantificar as mudanças ao longo do tempo (PAIVINEN et al., 1994). Para isto, é necessário compreender sua representatividade amostral e validade estatística, visando o total domínio do monitoramento florestal, para que ações corretivas e preventivas no manejo da população possam ser tomadas (SANQUETTA et al., 2014; HAKAMADA, 2012).

Outra definição sobre esta técnica de manejo é disposta por Péllico Netto e Brena (1997) & Avery e Burkhart (1983) como uma atividade cujo o objetivo principal é determinar características qualitativas e quantitativas de árvores individuais e dos povoamentos florestais existentes em uma área pré-especificada.

Segundo Gris (2022), a definição do objetivo do inventário é a primeira etapa para a escolha das estratégias e a análise de quais variáveis serão necessárias no campo de trabalho. Os objetivos mais comuns são os inventários de sobrevivência, contínuos, pré-cortes e de manejo sustentável (SANQUETTA et al., 2014).

No método tradicional de mensuração — este baseado na instalação de parcelas permanentes, medições com equipamentos que demandam mais de um trabalhador em campo — existem dois tipos de observação: via presencial – onde normalmente depende de uma amostragem representativa da população de interesse, sendo essa abordagem custosa e demandando muita mão de obra e tempo, reduzindo a eficiência do método – e por sensoriamento remoto, realizada através de técnicas e ferramentas de observação da floresta de maneira distante do alvo de interesse (HAKAMADA, 2012; GRIS, 2022).

Diante disso, a adoção de novas tecnologias e técnicas de sensoriamento remoto vêm sendo desenvolvidas, visando encontrar soluções que conciliam o desenvolvimento de métodos mais baratos e práticos para realização dos inventários florestais, somado à geração de estimativas de grande precisão para cada talhão manejado

2.1.2 Sensoriamento Remoto aplicado ao inventário

Ferramenta amplamente utilizada para aplicações florestais, o Sensoriamento Remoto (SR) é uma das técnicas do geoprocessamento cujas aplicações têm sido utilizadas como uma alternativa para diminuição de custos na obtenção de dados para o inventário florestal, além de gerar um ganho de eficiência na captação de novas informações sobre as florestas e também na digitalização dos dados. É um método que pode complementar os modelos tradicionais (TOMPPO et al., 2010).

No que diz respeito à aplicação do sensoriamento remoto em inventários florestais, teve início com o uso das fotografias aéreas, onde, devido ao avanço da tecnologia, é notório o desenvolvimento de sensores ativos, lançamento de novos satélites e advento dos Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) de maneira cada vez mais acessível para a execução do inventário florestal (WERNER, 2022).

Além disso, no sensoriamento remoto, somado às imagens de VANTs, é possível a aplicação de imagens de satélite para determinação das variáveis de interesse do inventário, bem como a utilização de modelos matemáticos para estimar as demais características do povoamento entre uma variável dependente e outras independentes (MACHADO et al., 2017; WERNER, 2022).

De acordo com White et al.(2016), as principais ferramentas do sensoriamento

remoto são: fotogrametria aérea digital e *High Spatial Resolution* (HSR), *Very High Spatial Resolution* (VHSR), *Terrestrial Laser Scanning* (TLS) e *Airborne Laser Scanning* (ALS), sendo essas duas últimas baseadas no *Light Detection and Ranging* (LiDAR).

A tecnologia LiDAR é baseada nos mesmos princípios utilizados no sistema de RADAR, com a diferença de que, ao invés do uso de ondas de rádio para localizar os objetos de interesse, o sistema LiDAR utiliza pulsos laser (GIONGO et al., 2010). Essa ferramenta tem mostrado resultados animadores na aquisição de informações, como área basal e altura de árvores individuais, seja pela coleta terrestre de dados, bem como por via aérea através de VANTs (WALLACE, et al., 2012)

Por outro lado, mesmo que haja uma gama de possibilidades de aplicações de novas tecnologias, é difícil a aplicação em larga escala, em função do custo e dos *hardwares* envolvidos, por exemplo no LiDAR, baseado no escaneamento a laser. Diante disso, há dificuldades da sua inserção operacional nas empresas florestais, detentoras de amplas áreas, além de um alto custo estar atribuído à essa tecnologia (GOODBODY et al. 2017; WERNER, 2002)

2.2 Tecnologia KATAM™ e sua aplicação em florestas

Diante da atual e latente demanda das empresas florestais para com redução de custos aliada à coleta de dados robustos visando o aumento da produtividade, a empresa nórdica Katam Technologies oferece no seguimento da mensuração e inventário florestal duas soluções: KATAM™ TreeMap e KATAM™ Forest. A primeira solução baseia-se no processamento de imagens coletadas a partir de câmeras óticas de drones, cujo objetivo está em estimar variáveis como altura, densidade, número de indivíduos, diâmetro de copa e realizar correções de limites de talhões.

A segunda solução diz respeito a um aplicativo cuja função é gravar vídeos pela câmera do celular ou *GoPro*, denominada KATAM™ Forest. Segundo Täll (2020), o software baseia-se na tecnologia Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) com objetivo de criar uma nuvem de pontos 3D e *Convolutional Neural Network* (CNN) — algoritmo de Aprendizado Profundo que pode captar uma imagem de entrada, atribuir importância a vários aspectos/objetos da imagem e capaz de diferenciar um do outro — para detectar as árvores nos vídeos, através de Inteligência Artificial (IA). Esta solução,

após o processamento, calcula a variável dendrométrica DAP e estima a altura total, área basal, densidade em árvores por hectare e volume (WERNER, 2022; GRIS, 2022).

O KATAM™ Forest tem como objetivo abordar uma metodologia de coleta mais robusta diante da porcentagem de amostras do talhão quando comparada à metodologia tradicional. Dessa maneira, é possível o aumento da área amostrada, garantindo maior representatividade, eficiência e precisão nos inventários florestais (GRIS, 2022). Essa solução também foi desenvolvida visando uma maior acessibilidade financeira e operacional do que as tecnologias LiDAR, por exemplo, conciliando uma coleta de dados robustos através de redução de custos.

2.3 Florestas Plantadas Brasileiras e Silvicultura de Precisão

2.3.1 Florestas Plantadas

As florestas plantadas brasileiras possuem cerca de 9,93 milhões de ha espalhadas por diversas regiões do país. Entre as espécies, 75,8% da área é composta pelo cultivo de eucalipto, com 7,53 milhões de hectares; e 19,4% de pinus, com aproximadamente 1,93 milhão de hectares. Além desses cultivos, o setor conta com cerca de 475 mil hectares plantados de outras espécies, entre elas a seringueira, acácia, teca, paricá e mogno (IBÁ, 2022).

Diante disso, desde a década de 1960, os plantios florestais têm sido expandido por todo o país, onde essas florestas passaram a fomentar matéria-prima para a indústria de celulose e papel e, posteriormente, para outros segmentos, tais como a produção de painéis, siderurgia, secagem de grãos e movelaria (MOREIRA et al., 2017).

A cadeia industrial florestal representa 1,2% do PIB Nacional. Além de atuar de forma sustentável, é um importante gerador de riqueza compartilhada. Em 2019, foram 1,3 milhão de postos de trabalho, na cadeia de árvores plantadas, somando oportunidades para mais de 3 milhões de brasileiros em todo o País (IBÁ, 2022).

Além disso, o setor de florestas plantadas é composto por empresas que utilizam áreas reflorestadas, que atende a um plano de manejo florestal próprio. As florestas contribuem para o fornecimento de biomassa, como lenha e carvão, além de colaborarem para a redução de gases causadores do efeito estufa (GEE), visto que são

estoques naturais de carbono (CUNHA et al.,2021).

A adoção dessa prática visa recuperar áreas degradadas, reduzir impactos ambientais e promover o desenvolvimento das comunidades locais, nos âmbitos econômico e social, onde, atualmente, são mais de 6 milhões de hectares para conservação. Em moderna técnica chamada de mosaico florestal, o setor intercala áreas de cultivos comerciais com conservação, auxiliando na regulação da água e cuidado com a biodiversidade (IBÁ, 2022).

As florestas nacionais são detentoras de diversas vantagens para as atividades florestais quando comparadas com outros países, principalmente em se tratando de fatores edafoclimáticos. Somado a isso, existe uma tendência cada vez maior ao desenvolvimento tecnológico aplicado ao setor florestal, o que mantém o país em um nível de competitividade alto no mercado mundial, o que pode vir a atrair investimentos de empresas do exterior para o mercado florestal nacional (CUNHA et al.,2021).

2.3.2 *Khaya senegalensis* e suas aplicações

Desde a década de 70 foi introduzida no Brasil, na região norte, a espécie Mogno Africano (*Khaya senegalensis* A. Juss.), principalmente por possuir madeira nobre, podendo ser destinada a diversos usos, apresentando-se como uma boa alternativa para somar à diminuição da exploração de florestas nativas (SOUZA et al., 2019). O gênero *Khaya* spp., pertencente à família Meliaceae, é composto por um importante grupo de espécies de elevado potencial madeireiro.

A madeira do mogno-africano tem sido mundialmente reconhecida como nobre, além de ser a principal substituta da madeira do mogno-brasileiro (*Swietenia macrophylla*), espécie fortemente devastada devido a sua vasta gama de uso. Entre as suas principais aplicações se destacam a fabricação de móveis de luxo, adornos, entalhes, instrumentos musicais, faqueados, laminados, construção civil e naval, e em revestimentos internos e decorativos em várias partes do mundo (REIS et al., 2019)

Somado a essa ideia, o cultivo do gênero *Khaya* spp. no Brasil vem crescendo de maneira significativa nos últimos anos. Segundo Reis et al. (2019), com pouco mais de 37 mil hectares plantados, o que torna o Brasil, muito provavelmente, o maior plantador

desse gênero. Ainda que a madeira do mogno africano possua grande potencial econômico, há carência de conhecimento tecnológico e científico da madeira, bem como poucos trabalhos sobre a silvicultura, produtividade e viabilidade econômica de plantações com esta espécie (SOUZA et al., 2019).

Por outro lado, segundo os estudos de Silva et al. (2016), é possível entender um pouco melhor do potencial produtivo da espécie no país, visto os 25 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ de incremento médio anual mensurado em um plantio em Minas Gerais. Ademais, visando otimizar tempo e reduzir custos, a silvicultura de precisão surge num cenário atual como ferramenta para o manejo das florestas.

2.3.3 Silvicultura de precisão

Assim como outras espécies comerciais florestais, as plantações de mogno africano com finalidade de produzir madeira necessitam da aplicação de técnicas de manejo apropriadas, visa obter a máxima produção e rentabilidade econômica. Segundo Reis et al. (2019), o manejo florestal de precisão se destaca como a técnica pode trazer um forte impacto e promover o resultado do cultivo da espécie.

De maneira geral, a silvicultura de precisão pode ser definida como o planejamento e condução de atividades de manejo localizado na floresta e operações para melhorar a qualidade e utilização do produto florestal, reduzir perdas, aumentar lucro e manter a qualidade do ambiente. Ela baseia-se na coleta e análise de dados geoespaciais localizadas nas florestas, com a exatidão e a precisão adequadas (VETORAZZI; FERRAZ, 2000; TAYLOR *et al.*, 2002).

Além disso, ferramentas espaciais e temporais são consideradas no sentido da silvicultura de precisão, como os sistemas de informações geográficas (SIG), sensoriamento remoto (SR) e sistemas de posicionamento global (GPS), os quais auxiliam e permitem intervenções precisas no povoamento (BRANDELERO et al., 2007). O gerenciamento de florestas implantadas baseado nessas técnicas facilita a tomada de decisão em empresas e propriedades, pois oferece maior disponibilidade de informações (VETORAZZI; FERRAZ, 2000)

3.OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem por objetivo comparar a aplicação da metodologia Katam na atividade de inventário florestal abordando a espécie *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss com o inventário realizado de maneira tradicional, executando técnicas de amostragem aleatória simples, a fim de analisar a acurácia e rendimento operacional.

3.1 Objetivos específicos

- Avaliar os resultados obtidos com as duas abordagens metodológicas, observando a estatística descritiva entre os dados da variável DAP nas parcelas;
- Entender se há diferença estatística significativa entre a coleta de dados do inventário tradicional e o inventário com a metodologia Katam;
- Comparar os tempos de um inventário florestal realizado de maneira tradicional com o inventário utilizando a metodologia Katam;
- Identificar possíveis limitações e comportamento das metodologia Katam e recomendar em quais ambientes e condições observou-se melhor desempenho em seu uso;
- Avaliar o desempenho das tecnologias KATAM™ na espécie estudada, a fim de difundir o conhecimento acerca disso;
- Apresentar as oportunidades e os desafios identificados com relação ao uso das tecnologias da KATAM™ nas florestas plantadas no Brasil.

4. JUSTIFICATIVA

Visando compreender o potencial existente em determinada área, as empresas e propriedades do ramo florestal utilizam o inventário como fonte de obtenção de dados para tomadas de decisões e manejo de seus recursos madeireiros, esses que servem como fonte de matéria-prima para diversos setores da indústria. Para isso, faz-se necessário um bom planejamento e técnicas adequadas de manejo dos plantios com o objetivo de otimizar os processos, reduzir custos e aumentar a eficiência. A partir disso, novas metodologias estão surgindo para suprir essas necessidades do mercado, e uma delas são as soluções propostas pela empresa Katam Technologies, através do algoritmo *KASLAM* processado pelo aplicativo KATAM™ Forest.

Dado os poucos estudos acerca das tecnologias KATAM™ no Brasil, em espécies abordando outros vieses que não sejam do gênero *Pinus* spp. ou *Eucalyptus* spp., verifica-se a relevância do presente trabalho como pioneiro na análise de suas possíveis aplicações em florestas plantadas de *Khaya senegalensis* almejando comparar a abordagem tradicional de inventário florestal com a aplicação das tecnologias KATAM™ em potenciais florestais, avaliando acurácia e rendimento operacional.

5. METODOLOGIA/MATERIAL E MÉTODOS

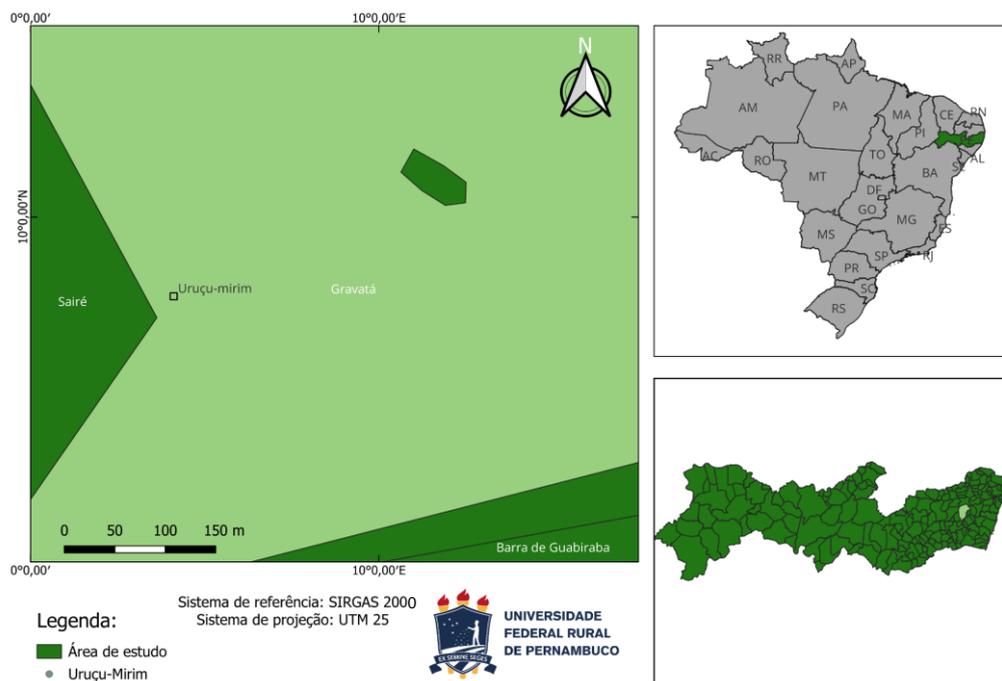
5.1 Caracterização das áreas de estudo

O estudo foi realizado numa área com plantios florestais localizados no município de Gravatá - PE, cidade de Uruçu Mirim (Figura 1). A propriedade, de domínio da FSA Atividades Agrícolas e Reflorestamento LTDA, é dividida em duas fazendas chamadas Santo Antônio e São Francisco, sendo a primeira a localização do presente estudo. A fazenda Santo Antônio possui área total de 6,77 ha da espécie *Khaya senegalensis* Desr. (Mogno Africano), com 5 anos de idade. Possui coordenadas geográficas de 08° 12' 04" de latitude sul e 35° 33' 53" de longitude

oeste (CPRM, 2005).

O clima da região é caracterizado como tropical chuvoso com verão seco (Af de Köppen), com temperatura média de 22,9 °C e verão seco. A estação chuvosa ocorre entre os meses de fevereiro e agosto, sendo junho o mês mais intenso, com precipitação média mensal de 135 milímetros. O município de Gravatá está inserido, predominantemente, na unidade geoambiental do Planalto da Borborema, formada por maciços, outeiros altos e relevo acidentado, com altitude de 447 metros (CPRM, 2005).

Figura 1: Localização do plantio de *Khaya senegalensis*, objeto do presente estudo.



Fonte: O autor (2023).

5.2 Histórico da área

O plantio de *Khaya senegalensis* iniciou-se entre os meses de março e abril de 2017, numa área com histórico de criação de gado de corte. Foram implantados 9 mil mudas no espaçamento 3 m x 2 m em área total equivalente a 5,4 ha (Figura 2). Em segundo plano, em janeiro de 2019, foi realizado um novo plantio de 2 mil mudas no espaçamento 3 m x 2 m, porém numa área de 1,3 ha. Alocadas num

plântio em diagonal, foi feita uma queimada para a limpeza da segunda área, onde fora irrigada 1 vez por semana.

No processo de implantação das mudas, utilizou-se um arado de 3 discos para a limpeza e preparo do solo na camada superficial. Além disso, no plântio foi realizada a abertura de covas de 30 cm x 60 cm, num espaçamento de 3 x 2 m e adicionada uma pá de esterco bovino. Para correção do solo utilizou-se 300g de calcário e NPK na proporção 10:10:10, ou seja, 100g por cova.

Figura 2: Alinhamento e sub bosque no plântio de *Khaya senegalensis* objeto do presente estudo.



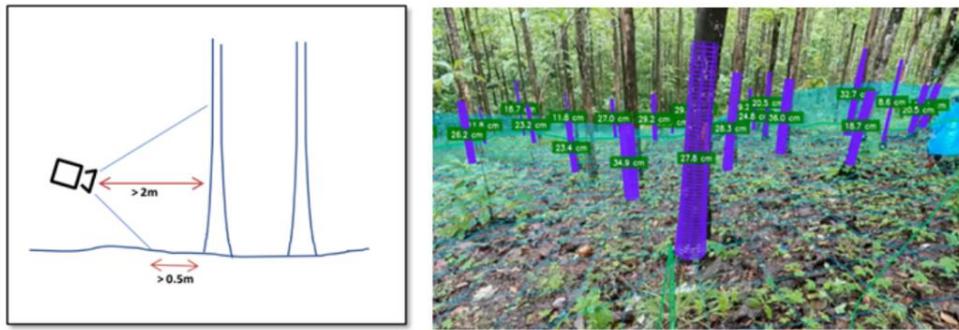
Fonte: O autor (2022).

5.3 Coleta de dados – Inventário com KATAM™ Forest

O inventário com o KATAM™ Forest não se baseia em fitas ou calibradores florestais, mas é utilizado *smartphone* ou GoPro. Na metodologia, foi realizada gravações de vídeos em sentido da linha de plântio, com duração de 40 segundos a 1:00 minuto, 2 metros de distância entre a câmara e a árvore (Figura 3), visando atender as diferentes fisionomias dos talhões. Com o objetivo de comparação, o caminhamento nas áreas florestais ocorreu próximo das coordenadas das parcelas utilizadas para o inventário florestal tradicional (IFT), que foram aleatorizadas. Cada

gravação foi considerada como uma unidade amostral para posteriores procedimentos estatísticos.

Figura 3: Metodologia de gravação de vídeo do aplicativo KATAM™ Forest.

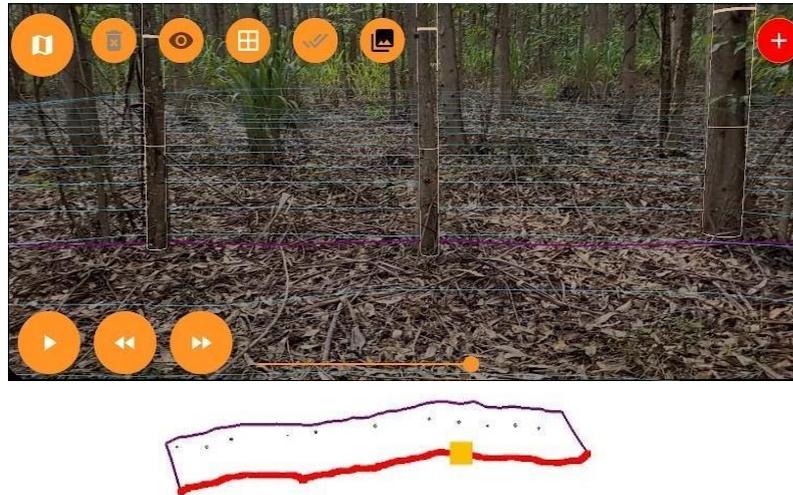


Fonte: O autor (2023).

Os vídeos foram coletados em cada linha dentro da parcela e, posteriormente, processados para a nuvem da empresa chamada *Katam Simultaneous Localization and Mapping* (KASLAM). O aplicativo não necessita de conectividade com *wi-fi* para funcionar, apenas do sinal do Sistemas de Posicionamento Global (GPS), como aconteceu no presente estudo. A coleta dos dados foi realizada por meio do *smartphone*: *GALAXY S20* modelo SM-G780G, tendo em vista a compatibilidade da câmera do celular com a resolução necessária para a captação dos vídeos através da Inteligência Artificial (IA).

No aplicativo, é possível utilizar duas abordagens para a coleta de dados denominadas “profundidade fixa” e “profundidade dinâmica”. Quando o aplicativo está configurado para profundidade fixa, o *software* irá detectar todas as árvores em um campo de visão máximo de área estabelecido pelo próprio operador e enquanto estiver configurado para profundidade dinâmica o próprio *software* delimitará o limite máximo do campo de visão. Foi utilizado neste trabalho a profundidade fixa como modelos de processamento para todas as variáveis, visto a maior precisão na coleta de dados.

Figura 4: Coleta dos diâmetros pelo aplicativo KATAM™ Forest na profundidade fixa.



Fonte: O autor (2022).

5.4 Coleta de dados – Inventário florestal tradicional

As medições foram realizadas em parcelas permanentes que foram selecionadas de maneira aleatória na área de estudo. Para definir a intensidade da amostra necessária, no plantio de *Khaya senegalensis*, inicialmente foi realizado um inventário piloto, onde foram alocadas 13 unidades amostrais, no entanto, para o presente estudo foram mensuradas 9. Para análise da suficiência amostral, o cálculo do erro amostral foi feito, sendo adotado um erro admissível de 10% a um nível de probabilidade de 95%. De maneira inicial, foram demarcadas parcelas de 380,13 m² (19,5m x 19,5m) para medição do diâmetro das árvores. A metodologia utilizada foi a de Área Fixa e o processo de amostragem casual simples, onde as parcelas foram sorteadas ao acaso na área de estudo.

No presente trabalho, os indivíduos foram mensurados com auxílio de fita métrica para obtenção das informações dendrométricas CAP (Circunferência à Altura do Peito), onde posteriormente foi transformado em DAP (Diâmetro à altura do peito).

5.5 Comparação em termos de rendimento

rendimento operacional

Para comparar o rendimento operacional entre as duas metodologias foi considerado os tempos de medição dentro de cada parcela. Foram entregues fichas de campo para cada equipe do inventário tradicional anotar manualmente o horário inicial e final das medições por parcela. A mesma metodologia foi utilizada para contabilizar o tempo de medição do aplicativo.

Com isso, a mensuração do tempo gasto para realizar as duas metodologias de inventário foi contabilizado dentro das unidades amostrais. Por outro lado, os tempos de deslocamento entre as parcelas, pausa e descanso não foram contabilizados.

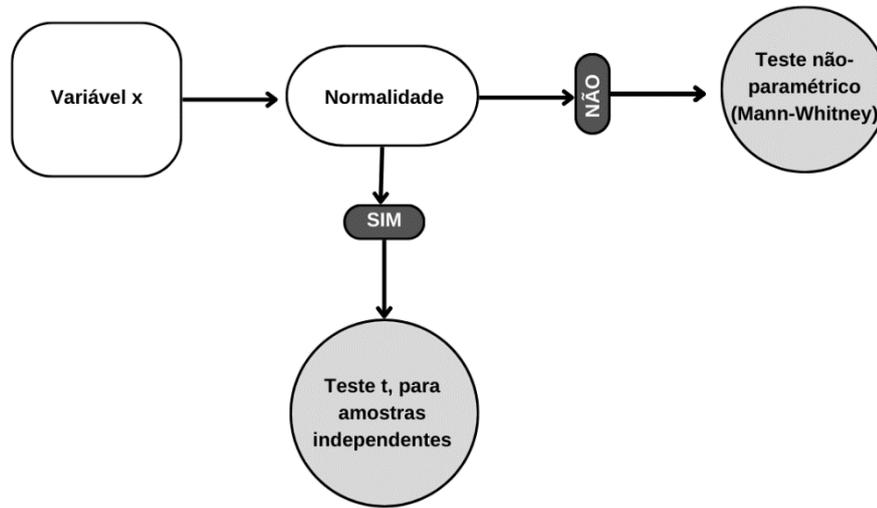
5.6 Análises estatísticas para comparação das abordagens

As variáveis estudada para a comparação estatística entre as duas metodologias de coleta de dados em inventário florestal foram DAP (cm) e rendimento operacional (min), sendo comparadas utilizando o software R e Excel.

Foram realizadas análises de estatística descritiva para entender se há diferença estatística significativa entre o parâmetro estudado. Em sequência, aplicou-se o teste de Shapiro-Wilk, para atestar a normalidade dos dados (figura 6).

Na ausência de normalidade, visando comparar as duas amostras independentes e determinar se elas vêm de populações com distribuições estatisticamente diferentes, ou seja, mediana; foi efetuado um teste não-paramétrico de Mann-Whitney. Todos os teste foram realizados ao nível de 5% de significância.

Figura 5: Fluxograma para decisão do teste de comparação de médias.



Fonte: O autor (2023).

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Estatística descritiva

Diante da análise das estatísticas descritivas dos dados, foi possível observar o comportamento dos valores médios dos indivíduos das parcelas em cada variável descritiva (Tabela 1). Ao analisar o DAP – este mensurado a 1,30m – (figura 7), verifica-se que a média do IFT é maior (7,08cm) em comparação a média da metodologia Katam(7,02cm), além da mediana do IFT (7,12cm) está próxima dos 7,06cm do aplicativo. Isso indica que, em ambos os métodos, a média e a mediana são bastante próximas, ou seja, os valores estão relativamente bem centrados na medida de tendência central, havendo pouca diferença entre as duas metodologias de inventário.

Tabela 1: Estatísticas descritivas dos valores de DAP no povoamento de *Khaya senegalensis*.

Método	DAP (cm)							
	Média	Mediana	Erro Padrão	Desvio Padrão	Variância	Mínimo	Máximo	CV%
IFT	7,08	7,12	0,17	1,32	1,91	2,96	9,76	18,7
KATAM	7,02	7,06	0,22	0,73	0,59	5,94	8,42	10,42

Fonte: O autor (2023).

A diferença que mais chama atenção é em relação ao desvio padrão do IFT, apresentando uma variação de 0,59 entre o aplicativo KATAM™ Forest. Dessa forma, o inventário tradicional apresentou um maior valor (1,32) em relação ao da Katam (0,73), indicando que os valores do IFT estão mais dispersos em relação à média. Somado a isso, resultado semelhante pôde ser observado nos estudos de Micheli et al. (2023), onde, comparando a medição dos valores de DAP entre metodologia Katam com a suta, os autores encontraram um menor desvio padrão na mensuração com a IA (2,01) comparado aos (3,10) da suta, apresentando 1,09 de diferença.

Somado a isso, foi constatado um pequeno valor destinto entre o erro padrão do IFT (0,17) para com o da Katam (0,22). Um erro padrão maior indica maior variabilidade nos dados do aplicativo em relação à média, o que pode indicar que os dados do KATAM são mais um pouco mais dispersos.

O valor mínimo para o IFT é 2,96, e o máximo foi 9,76. Para a Katam, o valor mínimo foi de 5,94 e o máximo de 8,42. Esses valores mínimos e máximos mostram que os dados do IFT têm uma faixa muito mais ampla do que os da Katam, novamente indicando maior variabilidade no IFT.

O coeficiente de variação (CV%) para o IFT foi de 18,7%, enquanto para o aplicativo apenas 10,42%. Pôde ser observada uma diferença de 8,28% nesse parâmetro entre as duas metodologias, sendo o valor da Katam menor, assim como nos estudos de Micheli et al. (2023), onde apresentou diferença de 4,7% em relação ao valor da suta.

Portanto, por Martins (2023), quanto menor o CV%, mais uniforme é a população. Isto pôde ser observado pelo aplicativo apresentar um coeficiente de variação mais consistente em relação à média da população.

Figura 6: Captura de tela do aplicativo Katam™ Forest mostrando a altura onde o DAP foi mensurado nas árvores a partir da identificação do chão da floresta.



Fonte: O autor (2023).

6.2 Teste de normalidade

O teste de normalidade é uma ferramenta usada para verificar se uma amostra de dados segue uma distribuição normal na média, assim, verificando a nulidade que uma amostra possui quando retirada de uma população de ser uma distribuição normal (SHAPIRO e WILK, 1965; GRIS, 2022). Para a interpretação dos dados do teste paramétrico de Shapiro-Wilk (tabela 2), se o valor-p for maior que o nível de significância (0,05), hipótese nula (H_0) – os grupos seguem uma distribuição normal – não deve ser rejeitada, mas se o valor-p for menor que o nível de significância, rejeita-se a hipótese nula (H_0).

Tabela 2: Resultados dos testes de hipótese das médias das amostras entre os métodos pelo DAP estimado pelo aplicativo em comparação do IFT.

Método	Valor-p	Estatística do teste
IFT	$1,8595e^{-06}$	0,9802
KATAM	0,0415	0,9738

Fonte: O autor (2023).

Diantes disso, foi possível observar que para o inventário tradicional o valor-p é extremamente baixo ($1,8595e^{-06}$), o que significa que é muito menor do que o nível de significância definido para o presente estudo (0,05), sendo assim, rejeita-se a hipótese nula (H_0) de que segue uma distribuição normal. Para os dados da Katam, o valor-p é igual a 0,0415, que também é menor que o nível de significância estipulado de 0,05. Dessa maneira, a hipótese nula (H_0), assim como no grupo de dados anterior, foi rejeitada.

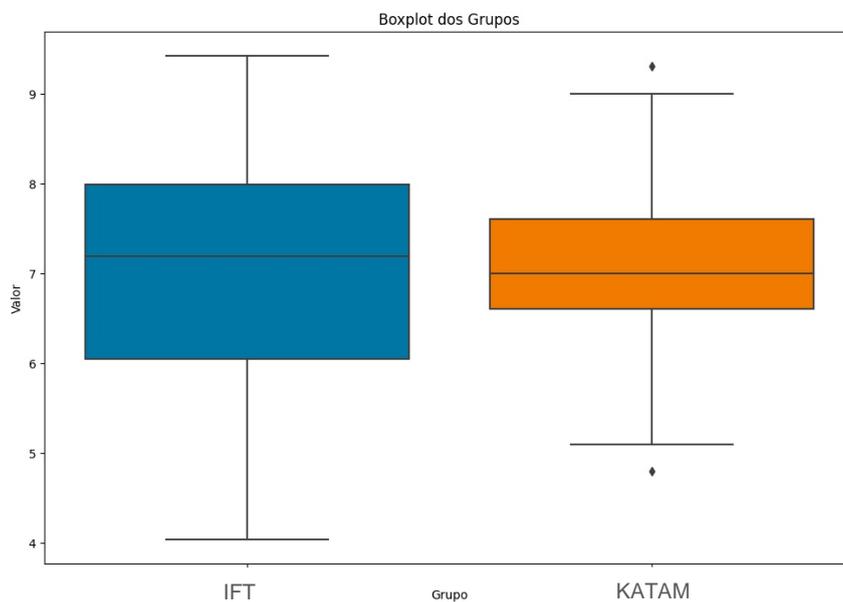
Com isso, assim como apresentado na tabela anterior, o resultado dos testes de normalidade de Shapiro-Wilk determinou que a variável DAP nas duas metodologias de inventário deveria ser analisada pelo teste não-paramétrico de Mann-Whitney por rejeitarem a hipótese de nulidade (H_0), ou seja, os dados não têm uma distribuição clara concentrada perto da média.

6.3 Teste não-paramétrico

A partir disso, foi realizado um teste U não-paramétrico paramétrico de Mann-Whitney com o objetivo de identificar se há ou não diferença estatística entre os valores coletados da variável DAP entre as duas metodologias de inventário estudadas.

Diante disso, foi constatado valor-p de 0,8482, isto é, que a probabilidade de obter uma estatística U tão extrema quanto a observada sob a hipótese nula, de que não há diferença significativa entre as duas amostras, apresentando valor aproximado de 84,82%. Como o valor-p é muito maior do que os 5% de significância admitido, não há evidências estatisticamente significativas para rejeitar a hipótese nula, ou seja, não há evidências suficientes para afirmar que as medianas das duas amostras de DAP são diferentes (figura 7).

Figura 7: Boxplot dos dados de DAP apresentando mediana estatisticamente significativa e semelhantes.



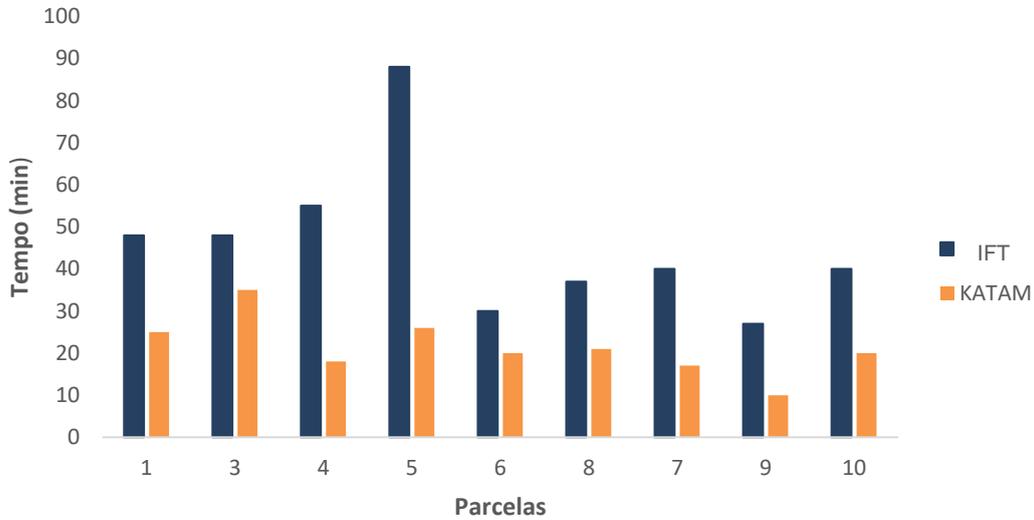
Fonte: O autor (2023).

Portanto, não há evidências suficientes para afirmar que as medianas das duas amostras são diferentes. O mesmo resultado foi constatado por Gris (2022) em seus estudos, ao comparar as duas metodologias de inventário para com a variável DAP. Segundo o autor, não houve diferença estatística entre as metodologias de amostragem para a variável de DAP, ao nível de 5% de significância.

6.4 Rendimento operacional

O rendimento operacional foi avaliado comparando os tempos e movimentos entre o inventário florestal tradicional e o inventário utilizando a metodologia Katam dentro das parcelas. Cada parcela contém 380,13 m³. Os tempos registrados durante as etapas dos inventários estão apresentados na tabela 2.

Figura 8: Comparação do tempo de medição das parcelas nas duas metodologias de inventário.



Fonte: O autor (2023).

No total, o inventário com a IA levou um tempo de 193 minutos para ser mensurado. Por outro lado, o IFT gastou um tempo de 413 minutos. Ao todo, o tempo para realizar um inventário florestal com a metodologia da Katam foi de aproximadamente menos da metade do tempo gasto no inventário florestal tradicional.

O mesmo resultado pôde ser inferido por Werner et al. em seus estudos utilizando o aplicativo KATAM™ Forest. Em plantios de *Eucalyptus* spp. e *Pinus* spp. os autores identificaram que o IFT, ainda que com mais parcelas do que o presente estudo (74 somando as duas áreas estudadas), gastou o dobro do tempo das medições com o aplicativo. Desse modo, podendo concluir que as tecnologias KATAM™ têm potencial para reduzir os custos e aumentar a agilidade nas operações de inventário florestal.

Contudo, considerando as diferenças na intensidade amostral obtida com cada abordagem de inventário apresentadas na tabela 3, é possível perceber que, na realidade, o tempo gasto com a Katam é ainda menor em comparação com a abordagem tradicional.

Tabela 3: Intensidade amostral obtida por cada abordagem de inventário.

Método	Área total das parcelas (m²)	Intensidade amostral (%)
IFT	3421	5,05
KATAM	6028	8,90

Fonte: O autor (2023).

Tendo por definição, a intensidade amostral é a razão entre a área amostrada e a área da população onde, na grande maioria dos inventários florestais, é baixa, geralmente menor do que 1% da área total e raramente ultrapassa os 5% (MARTINS, 2023). Portanto, quanto maior a intensidade amostral mais representativa é a sua amostragem. Diante disso, foi possível observar valores de amostragem de 5,05% para o IFT e 8,90% da área total para o aplicativo, ou seja, uma diferença de quase o dobro da área amostrada.

Como isso, é possível afirmar que a amplitude desta diferença em termos de rendimento operacional se dá, principalmente, em função da diferença na abordagem de mensuração das variáveis dendrométricas em campo, visto que, enquanto na forma tradicional as árvores são medidas manualmente, uma a uma, com as soluções da KATAM™ as mensurações são digitais (WERNER, 2022).

Somado a essa ideia, os maiores objetivos das empresas de base florestal são a redução de custo de operação e obtenção maior agilidade na mensuração. Além disso, evitar uma grande quantidade de tempo dispendida na realização dos inventário é fundamental para redução do orçamento da empresa. Diante disso, é possível observar que há grande potencial na aplicação das soluções KATAM™ quando tratamos do elevado rendimento operacional com menor quantidade de mão de obra necessária em campo (GASPAROTO, 2017; WERNER, 2022).

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do estudo comparativo realizado entre as tecnologias KATAM™ e o inventário tradicional, é possível concluir que os dados obtidos por cada abordagem para as variáveis DAP foram, à 95% de probabilidade, estatisticamente significantes e não apresentam diferença entre as medianas dos dois conjuntos de grupos de diâmetro.

O uso da metodologia da Katam surge com alternativa na operação de inventários e, principalmente, na coleta de dados biométricos de maneira robusta, sem que haja perda estatística significativa. Desso modo, com utilização de aparelhos convencionais, como o *smartphones*, todo o processo de mensuração pode ser realizado e armazenado digitalmente, além de poder ser auditado e conferido de maneira súbita, na “palma da mão”.

Através das análises estatísticas observadas neste estudo, foi verificado que a metodologia da Katam se mostrou eficiente para a variável DAP, onde não fora observado diferenças significativa entre as medianas dos dados em comparação da amostragem do inventário tradicional ao nível de 5%. Por outro lado, o erro padrão para a Katam apresentou valor maior do que erro do IFT, o que pode ser inferido devido à alta presença de sub-bosque e ascentuada declividade do terreno, assim, interferindo na visão e caminhamento para realização das medições, consequentemente, na estimativa do aplicativo.

O rendimento operacional, no sentido de tempo, de um inventário florestal com o KATAM™ é cerca de 2 vezes maior em florestas de *Khaya senegalensis* quando comparado ao IFT, nesse cenário. Assim, o inventário com a metodologia da Katam possui um conjunto de dados estatisticamente semelhantes ao inventário realizado da maneira tradicional, além de ter coletado uma intensidade de amostragem (8,90%) de quase o dobro do método convencional (5,05%) em menos tempo. Logo, possui potencial para reduzir os custos e aumentar a agilidade nas operações de inventário florestal.

Dessa forma, essa metodologia digital se torna um método atrativo de coleta de informações de povoamentos arbóreos, sendo uma alternativa tecnológica na área de inventários florestais ao deter amplo horizonte de estudos. No entanto, é nessessário mais pesquisas e calibrações, visando o maior aperfeiçoamento prático em plantios de *Khaya senegalensis*, bem como a diminuição do erro e adequação às florestas plantadas brasileiras.

7.1 Recomendações para trabalhos futuros

Sendo este o primeiro trabalho de pesquisa com a espécie *Khaya senegalensis* abordando as tecnologias KATAM™ no Brasil, e poucos estudos abordando inventário de maneira geral no país, recomenda-se análises mais profundas da variável DAP, utilizando o processamento *KASLAM*, bem como pesquisas com outras variáveis dendrométricas, a fim de comparar as duas metodologias de inventário e gerar mais conclusões sobre o assunto.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AVERY, T.E; BURKHART, H.E. **Forest measurements**. 3rd ed. New York: McGraw-Hill, 1983.331p.

ARAÚJO, V. A. *et al.* Importância da madeira de florestas plantadas para a indústria de manufaturados. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 37, n. 90, p. 189-200, 2017.

BRANDELERO C. *et al.* Silvicultura de precisão: mapeamento, inventário e geoestatística. **Revista Geomática**.2007; 2(1): 15-25.

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Diagnóstico do município de Gravatá**. Recife, 2005.

CAMPELO, N. R. *et al.* MOGNO AFRICANO (*Khaya grandifoliola*) NO BRASIL- UMA REVISÃO DE LITERATURA. **Revista Maestria**, v. 18, n. 1-135), p. 59-66, 2023.

MICHELI, R. *et al.* COMPARAÇÃO ENTRE APLICATIVO KATAM™ FOREST E SUTA PARA MENSURAÇÃO DE DIÂMETRO EM INVENTÁRIO FLORESTAL. In: **VI ENCONTRO BRASILEIRO DE MENSURAÇÃO FLORESTAL - MENSUFLO**, 2023, Recife. VI MENSUFLO - Anais, 2023.

CUNHA, L. F. *et al.* Modelo de ranqueamento empresarial para análise da relevância das empresas no setor de florestas plantadas. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 41, 2021.

FANKHAUSER, K. *et al.* of traditional forest inventory and airborne laser scanning with unmanned aerial systems and photogrammetry for forest monitoring. **Remote Sensing**, v. 10, n. 10, p. 1562, 2018.

GASPAROTO, E. A. G. **O panorama do inventário de florestas plantadas no Brasil**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Manejo Florestal de Precisão) – Universidade Federal do Pará, Curitiba, 2017.

GIONGO, M. *et al.* LiDAR: princípios e aplicações florestais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 30, n. 63, p. 231-231, 2010.

HAKAMADA, R. E. **Uso do inventário florestal como ferramenta de monitoramento da qualidade silvicultural em povoamentos clonais de Eucalyptus**, 2012, 115p. Mestrado em Recursos Florestais)–Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

IBÁ. Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório 2022 = Report 2022**. São Paulo: Brasília, DF. 2022. Disponível em: <<https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-anual-iba2022-compactado.pdf>> . Acesso em: 12 ago. 2023.

GRIS, V. H. **Aplicativo KATAM™ Forest para inventário florestal: estudo de caso em plantio de *Pinus taeda* L.** Monografia (Bacharelado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2022.

GOODBODY, T.R. *et al.* Unmanned aerial systems for precision forest inventory purposes: A review and case study. **The Forestry Chronicle**, v. 93, n. 1, p. 71–81, 2017. Disponível em: <<https://pubs.cif-ifc.org/doi/10.5558/tfc2017-012>>. Acesso em: 27 ago. 2023.

Köppen, W., & Geiger, R. (1928). **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes.

MACHADO, S. A. et al. Comportamento da relação hipsométrica de *Araucaria angustifolia* no capão da Engenharia Florestal da UFPR. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n. 56. p. 5–16, 2008. Disponível em: <<https://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/58>>. Acesso em: 27 jul. 2023.]

MARTINS, B. F. **Técnicas geoestatísticas na redução da intensidade amostral em inventário de eucalipto**. Monografia (Bacharelado em Engenharia Florestal) – Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica, 2023.

MOREIRA, J. M. M. A. P. *et al.* Importância e desempenho das florestas plantadas no contexto do agronegócio brasileiro. **Floresta**, v. 47, n. 1, p. 85-94, 2017.

NEGRÃO, P. I. G. **Caracterização de uma ocorrência de material areno-caulinítico no município de Igarassu-PE para aproveitamento industrial**. 2016. (Mestrado em Engenharia Mineral) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016.

PAIVINEN, R. *et al.* **IUFRO International guidelines for forest monitoring**. Vienna: International Union of forest Research, 1999. 102p. (IUFRO world series report, 5.)

PÉLLICO N.S, BRENA D.A. **Inventário florestal**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná; 1997.

SANQUETTA, C. R. *et al.* **Inventários florestais: planejamento e execução**. 3. ed. Curitiba: Multi-Graphic Gráfica e editora, 2014.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality (complete samples), **Biometrika**, v. 52, p. 591–611, 1965.

SILVA, W., M. & DALLA CORTE, A. P. Estimativas para inventário florestal em plantios florestais: uma abordagem comparativa entre a aplicação das tecnologias Katam™ e o inventário tradicional. **Revista Técnico-Científica**, 2022.

SOUSA, J. M. R. *et al.* Modelagem de equações hipsométricas em plantio jovem de mogno africano (*Khaya senegalensis* A. Juss.). In: **VIII JORNACITEC-Jornada Científica e Tecnológica**. 2019.

LATIFI, H. & HEURICH, M. Multi-scale remote sensing-assisted forest inventory: A glimpse of the state-of-the-art and future prospects. **Remote Sensing**, v. 11, n. 11, p. 1260, 2019.

LIANG, X. *et al.* Forest *in situ* observations using unnamed aerial vehicle as an alternative of terrestrial measurements. **Forest Ecosystems**, v. 6, n. 20, p. Páginas, 2019.

RAMOS, W. *et al.* Gerenciamento dos resíduos sólidos da indústria de base florestal na região metropolitana de Belém-Pa. **Agrarian Academy**, v. 5, n. 09, 2018.

REIS, C. A. F. *et al.* **Mogno-africano (*Khaya spp.*): Atualidades e perspectivas do cultivo no Brasil**. [s.l.] Brasília, DF: Embrapa, 2019., 2019.

SOUSA, J. M. R. *et al.* Modelagem de equações hipsométricas em plantio jovem de mogno africano (*Khaya senegalensis* A. Juss.). In: **VIII JORNACITEC-Jornada Científica e Tecnológica**. 2019.

TOMPPO, E. T.; *et al.* **National Forest Inventories: Pathways for Common Reporting**. Springer Netherlands, 2010.

Vettorazzi C.A., Ferraz S.F.B. Silvicultura de precisão: uma nova perspectiva para o gerenciamento de atividades florestais. In: Borém A, Giúdice MP, Queiroz DM. **Agricultura de precisão**. Viçosa: Editora UFV; 2000.

TÄLL, K. **Accuracy of mobile forest inventory application KATAM Forest – Evaluation of accuracy in different forest types and comparison to conventional**

inventory methods. 2020. 55 f. Master thesis in Forest Science. Swedish University of Agricultural Sciences. Alnarp, 2020.

TAYLOR, S.E. et al. Precision forestry: operational tactics for today and tomorrow. In: **INTERNATIONAL MEETING OF THE COUNCIL ON FOREST ENGINEERING**, 23., 2002, Corvallis. Annals... Corvallis: Oregon State University Press, 2002. 6 p.

WALLACE, L. et al. Development of a UAV-LiDAR system with application to forest inventory. **Remote Sensing**, v. 4, p. 1519–1543, 2012. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/4/6/1519>. Acesso em: 27 ago. 2023.

WERNER, M. S. **Estimativas para inventário florestal em plantios florestais: uma abordagem comparativa entre a aplicação das tecnologias Katam e o inventário tradicional**. 2022. 62 f. Trabalho de Conclusão do Curso (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2022.

WHITE, J. C. et al. Remote sensing technologies for enhancing forest inventories: a review. **Canadian Journal of Remote Sensing**, v. 42, n. 5, p. 619–641, 20.