



ITALA CRISTINA DE OLIVEIRA DRUMOND

**USO DA TECNOLOGIA LiDAR NA ESTIMATIVA DO  
VOLUME EM POVOAMENTOS DE *EUCALYPTUS* NA  
REGIÃO DO VALE DO RIO DOCE**

**LAVRAS – MG**

**2023**

**ITALA CRISTINA DE OLIVEIRA DRUMOND**

**USO DA TECNOLOGIA LiDAR NA ESTIMATIVA DO VOLUME EM  
POVOAMENTOS DE *EUCALYPTUS* NA REGIÃO DO VALE DO RIO  
DOCE**

Monografia apresentada à Universidade Federal  
de Lavras, como parte das exigências do Curso de  
Engenharia Florestal, para a obtenção do título de  
Bacharel.

Prof. Dr. Fausto Weimar Acerbi Júnior  
Orientador

**LAVRAS – MG  
2023**

**ITALA CRISTINA DE OLIVEIRA DRUMOND**

**USO DA TECNOLOGIA LIDAR NA ESTIMATIVA DO VOLUME EM  
POVOAMENTOS DE *EUCALYPTUS* NA REGIÃO DO VALE DO RIO  
DOCE**

**USE OF LIDAR TECHNOLOGY IN VOLUME ESTIMATION IN  
*EUCALYPTUS* STANDS IN THE RIO DOCE VALLEY REGION**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Florestal, para a obtenção do título de Bacharel.

APROVADA em 21 de novembro de 2023

Prof. Dr. Fausto Weimar Acerbi Júnior

Samuel José Silva Soares da Rocha

Kalill José Viana da Páscoa

Prof. Dr. Fausto Weimar Acerbi Júnior

Orientador

**LAVRAS – MG**

**2023**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, por todas as oportunidades, inclusive as de aprendizado, na vida e nesse longo caminho percorrido.

À minha família, Geny, Sidney e Alicia, agradeço por todo apoio, amor e incentivo. E quando falo em família, não posso deixar de incluir minha grande companheira Thainá Vilela, que desde o início dessa jornada tem estado comigo em todos os momentos, com muita paciência e alegrando meus dias.

À Celulose Nipo-Brasileira S/A (Cenibra) por ter sido minha primeira casa, por todo conhecimento adquirido, pelas pessoas maravilhosas que tive o prazer de conhecer, e claro, o fornecimento dos dados e apoio a esse estudo.

Ao meu orientador Professor Fausto Weimar Acerbi Júnior, por ter acreditado nesse trabalho, e ser sempre muito disposto em ajudar.

À banca avaliadora, pela disponibilização de tempo e contribuição para meu trabalho.

Ao DCF (Departamento de Ciências Florestais), por ser minha casa, pela estrutura oferecida para o desenvolvimento de aulas e pesquisas que contribuíram para minha formação acadêmica.

À coordenação do curso, Ana Carolina, por sempre estar disponível para ouvir e cuidar dos estudantes.

À ESAL (Escola de Ciências Agrárias de Lavras), por todo suporte na fase final da minha graduação.

À todas as pessoas que fizeram parte dessa jornada, que me ajudaram direta ou indiretamente.

À UFLA (Universidade Federal de Lavras), pelas oportunidades oferecidas e pelas experiências vividas, que sempre me lembrarei com muito carinho.

*“Alguns homens vêem as coisas como são,  
e dizem ‘Por quê?’ Eu sonho com as coisas que  
nunca foram e digo ‘Por que não?’.”*

*- Geroge Bernard Shaw*

## RESUMO

O uso de novas tecnologias no setor florestal vem crescendo cada vez mais, devido seu auxílio e contribuição em tarefas que por vezes são onerosas e demoradas. O LiDAR (*Light Detection And Ranging*) tem se consolidado no setor florestal como uma tecnologia de mapeamento tridimensional de áreas plantadas, auxiliando assim, na obtenção de métricas e variáveis dendométricas que, muitas vezes são de difícil aquisição, como a altura e o volume das árvores. Neste sentido, a estimativa de volume através de dados LiDAR é proposta neste trabalho. Para isso, utilizou-se o método de detecção de árvores individuais em conjunto com os dados de Diâmetro a Altura do Peito (DAP) médio de cada talhão estimado no Inventário Pré-Corte (IPC). Para o cálculo do volume, fez-se o uso da equação de volume genérica. Através do comando *IndividualTreeDetection* foi possível identificar as árvores individuais diretamente da nuvem de pontos, e conhecendo o DAP médio de cada talhão, observou-se resultados positivos, sendo a maior diferença volumétrica de 39% entre estimativa adotada neste trabalho e os resultados do IPC fornecidos pela empresa. Os talhões A e G foram os que tiveram resultados mais precisos em comparação ao IPC, com desvios de 1% e 2% por hectare respectivamente. De forma geral, baseado nos resultados obtidos de cada talhão, a metodologia desenvolvida neste trabalho pode ser utilizada e aperfeiçoada, obtendo melhores resultados conhecendo características do povoamento em que será aplicado.

**Palavras-chave:** árvores individuais, nuvem de pontos, sensoriamento remoto, geotecnologia, inventário florestal, inventário pré-corte.

## ABSTRACT

The use of new technologies in the forestry sector has been growing increasingly, due to their assistance and contribution to tasks that are sometimes costly and time-consuming. LiDAR (Light Detection And Ranging) has been consolidated in the forestry sector as a technology for three-dimensional mapping of planted areas, thus helping to obtain metrics and dendometric variables that are often difficult to acquire, such as the height and volume of trees. In this sense, volume estimation through LiDAR data is proposed in this work. For this, the method of detecting individual trees was used together with the average Diameter at Breast Height (DBH) data for each plot estimated in the Pre-Cut Inventory (IPC). To calculate the volume, the generic volume equation was used. Using the IndividualTreeDetection command, it was possible to identify individual trees directly from the point cloud, and knowing the average DBH of each plot, positive results were observed, with the largest volumetric difference being 39% between the estimate adopted in this work and the IPC results provided. Fields A and G were those that had the most accurate results compared to the IPC, with deviations of 1% and 2% per hectare respectively. In general, based on the results obtained from each plot, the methodology developed in this work can be used and improved, obtaining better results knowing the characteristics of the population in which it will be applied.

**Keywords:** individual trees, point cloud, remote sensing, geotechnology, forest inventory, pre-cut inventory.

# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>9</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>10</b>
2.1. LiDAR (Light Detection and Ranging) .....	10
2.2. Funcionamento do sistema LiDAR .....	11
2.3. Aplicações do sensor LiDAR na área florestal .....	13
2.4. Respaldo para implementação do LiDAR no inventário florestal .....	14
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>14</b>
3.1. Caracterização da área de estudo.....	15
3.2. Dados LiDAR.....	16
3.3. Processamento dos dados.....	17
3.4. Estimativa do volume .....	20
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>21</b>
4.1. Identificação das árvores individuais.....	21
4.2. Distribuição das alturas .....	23
4.3. Estimativa do volume .....	25
<b>5. LIMITAÇÕES NA APLICAÇÃO DA METODOLOGIA.....</b>	<b>30</b>
<b>6. CONCLUSÃO.....</b>	<b>30</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>32</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A crescente expansão do setor florestal no Brasil, e o aumento da demanda por madeira, influenciam a necessidade de aprimorar e desenvolver as estimativas dos inventários florestais, sejam contínuos ou de pré-corte. Essa informação é de tal importância, que pode ser determinístico na tomada de ações em empresas florestais através do planejamento estratégico e operacional.

A estimativa volumétrica de um povoamento depende da aquisição de dados dendométricos, como altura e DAP. Normalmente, essas estimativas são realizadas por amostragem em parcelas no campo, em que, muitas vezes, a intensidade amostral e a localização das parcelas podem não ser significativas em relação a representatividade da área total (MACEDO, 2009).

A adoção de uma metodologia de amostragem eficiente nos inventários florestais deve considerar as características da população estudada, como espaçamento, idade, índice de sítio e até o material genético, mas essa abordagem mais rica em detalhes acarreta em custos e um tempo maior gasto no inventário em campo.

No que se refere as estimativas de variáveis dendométricas bem como o volume de madeira final em um povoamento florestal, o emprego das técnicas de amostragem e sensoriamento remoto são essenciais para resultados mais precisos (CORTE *et al.*,2022). Dentro do avanço das tecnologias do sensoriamento remoto, o sistema LiDAR tem apresentado muitas contribuições, se mostrando bastante promissor na estimativa do volume de madeira em florestas plantadas.

A tecnologia LiDAR permite a obtenção de diversas variáveis que se correlacionam com o volume de um povoamento florestal (GIONGO *et al.*,2010) e proporcionam a modelagem tridimensional de uma área. As abordagens mais utilizadas são as com enfoque por unidade de área, em que as métricas amostrais são derivadas de uma nuvem de pontos, e a abordagem com enfoque em árvores individuais.

A altura das árvores é uma variável dendométrica de difícil aquisição no inventário florestal, mas apresenta forte correlação com o volume de madeira em um talhão (OLIVEIRA, *et al.*, 2014, p.2, *apud* SKOVSGAARD; VANCLAY, 2008). Bem como a quantidade de indivíduos arbóreos por hectare, que, além de ser uma variável de difícil obtenção em campo, é sensível a ajustes relacionados a medida de área do talhão (MACEDO, 2009). Com a

utilização da tecnologia LiDAR, a obtenção dessas e outras variáveis se torna mais fácil devido às suas vantagens.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a possibilidade de estimar a altura das árvores individuais, diretamente a partir da nuvem de pontos, possibilitando a estimativa do número de árvores individuais dentro dos talhões estudados, bem como a altura de cada indivíduo e com isso chegar ao volume presente nos talhões em estudo.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1. LiDAR (Light Detection and Ranging)**

Difundida desde de a década de 1990, a tecnologia LIDAR é um sistema que utiliza o perfilamento a laser, para esboçar espacialmente um objeto de estudo. Inicialmente, este sistema era utilizado exclusivamente em aeronaves preparadas para coberturas aéreas ou em helicópteros, mas com o avanço da tecnologia, hoje é possível sua utilização em *smartphones* (MARKETS AND MARKETS, 2023).

É considerado um sensor ativo e de captura direta de dados, uma vez que não necessita de uma fonte externa de energia e iluminação, como, por exemplo, o sol, apresentando uma vantagem em relação a sensores passivos (satélites). Outra vantagem é a diversidade de produtos e subprodutos gerados com este sistema, como, por exemplo, Modelos Digitais de Elevação (DEM); Modelos Digitais de Terreno (DTM); Modelos Digitais de Superfície (DSM); Modelos de Altura do Dossel (CHM); uma vez que o sistema é sensível a pequenas variações do terreno e possui capacidade de penetração considerável mesmo em vegetações mais densas.

Desde a chegada da tecnologia no mercado, muitos estudos científicos e acadêmicos foram realizados, e o LiDAR mostrou-se promissor em várias áreas, inclusive a florestal. Oliveira *et al.* (2014), em sua pesquisa demonstrou a possibilidade de gerar equações de regressão para estimar o DAP com boa precisão, a partir de dados de altura obtidos pelo LiDAR (OLIVEIRA *et al.*, 2014). Bem como Lage *et al.* (2022), comprovou a viabilidade técnica da utilização dos dados provenientes da tecnologia LiDAR na identificação de árvores individuais com precisão, e a estimativa da altura dos indivíduos também foram satisfatórias, apresentando médias próximas às aferidas em campo.

Esta tecnologia admite a determinação de forma mais precisa de informações de distância e velocidade de objeto quando comparada com a tecnologia RADAR, pois o LIDAR

utiliza de ondas ópticas, em um regime de comprimento de onda menor em comparação com a onda de rádio, consequentemente melhorando seu potencial para alcançar objetos com maior exatidão em detecções 3D. Nesse sentido, nos últimos anos grandes atribuições foram implantadas para a detecção e alcance de luz, aprimorando projetos em custo, tamanho, peso e potência (Li *et al.*, 2022).

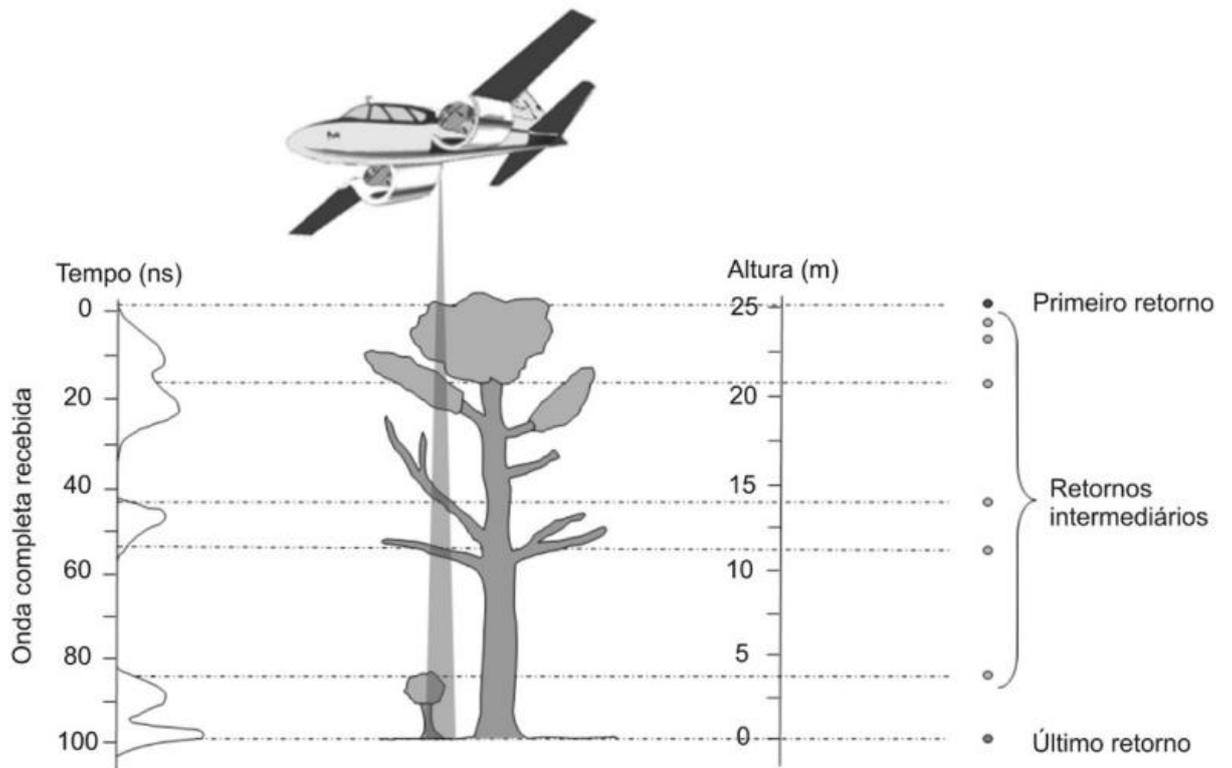
Pode-se classificar este instrumento de acordo com o contexto ao qual será aplicado, mas é, geralmente, classificado usando três tipos de funcionalidade de captura, sendo elas espacial, espectral e temporal. A captura espacial é uma funcionalidade fundamental do LIDAR, obtida utilizando a medição do tempo de voo (TOF). A coleta espacial pode ser feita em três variedades: unidimensional (1D), bidimensional (2D) e tridimensional (3D), onde as coletas 2 e 3D são obtidas com o auxílio de sistemas de deflexão óptica. Este tipo de informação, geralmente é utilizada para construção de mapas 3D preciso de ambientes (TINAL *et al.*, 2020).

## **2.2. Funcionamento do sistema LiDAR**

O funcionamento dos sensores LiDAR parte do princípio de pulsos lasers que são emitidos de uma plataforma, seja ela aérea, terrestre ou orbital, com uma volumosa frequência de repetição, em direção a um alvo. O sistema é basicamente composto por um sensor aerotransportado que emite o laser de luz no infravermelho próximo, um Sistema de Navegação Inercial (INS), que utiliza a unidade de medição inercial (IMU's), o Sistema de Posicionamento Global (GPS) de alta precisão, e um computador para o processamento dos dados.

O primeiro conjunto de pulsos que interagem com a superfície a ser imageada e retornam ao sensor são classificadas como primeiros retornos, na aplicação florestal, representa a copa das árvores, possibilitando a construção do Modelo Digital de Superfície (MDS). À medida que o sensor percorre a área, os pulsos apresentam retornos intermediários, o que representa os galhos, folhar e o sub-bosque da floresta. O conjunto de pulsos que atingem o solo são classificados como últimos retornos, permitindo a criação do Modelo Digital do Terreno (MDT) (SATO,2017).

Figura 1 - Representação do funcionamento de um sistema de ondas contínuas a laser e a sua interação com a vegetação.



Fonte: Giongo et al (2010).

O tempo de retorno do pulso laser é mensurado pelo sensor, permitindo assim a estimativa das distâncias entre o scanner e o solo, bem como sua classificação. Sendo a velocidade da luz conhecida, e o tempo da emissão e recepção também, através da equação 1 é possível saber a distância (D).

Equação 1:

$$D = c \cdot \left(\frac{t}{2}\right) \quad (1)$$

Onde,

c: velocidade da luz = 299.792.458 m/s

t: tempo de emissão e recepção de um pulso (ns)

A informação fornecida pelo LIDAR é uma nuvem de pontos com a coordenadas x, y e z de cada ponto interceptado na superfície terrestre, a precisão da posição dos pontos geográficos se deve ao sistema de posicionamento global diferencial (*Differential Global*

*Positioning Systems – DGPS*) e uma unidade de medida inercial (*Inertial Measurement Unit - IMU*) (SATO, 2017).

### **2.3. Aplicações do sensor LiDAR na área florestal**

Desde a sua chegada ao mercado e a sua difusão no meio florestal, o uso da tecnologia LiDAR apresenta uma tendenciosidade para aplicações em plantios de *Eucalyptus sp.*, como é apresentado no trabalho de Mega e Kuplich, (2019) em que, dos 19 artigos de pesquisa selecionados 11 eram dedicados exclusivamente a cultura, mostrando a relevância dos estudos principalmente no setor de celulose e papel.

Diante de várias vantagens da utilização do LiDAR como a modelagem 3D do terreno e das informações dendométricas de um povoamento inteiro que podem ser obtidas apenas com um voo, muitas empresas tem investido no uso da tecnologia e nos estudos envolvendo o LiDAR.

Zonete (2009) realizou estudos em povoamentos de *Eucalyptus sp.* no sul da Bahia, verificando que o uso da tecnologia ALS gerou, com alta capacidade preditiva, as variáveis de diâmetro médio, altura média, altura dominante, área basal e volume das parcelas estudadas. Neste mesmo segmento de estudo, Macedo (2009) também avaliou as variáveis dendométricas de um povoamento de *Eucalyptus sp.* no estado de São Paulo, com várias idades e planos de manejo. De acordo com o autor, os percentuais de erro das estimativas apresentadas no seu estudo se mostraram dentro dos limites de tolerância estimados para inventários convencionais.

No extremo sul do estado da Bahia, Oliveira (2011), com 97,36% de acerto, comparando as informações da nuvem de pontos do LiDAR com a contagem manual em imagem *Quickbird*, determinou o número de árvores por meio de contagem automatizada a partir de um algoritmo de Local Máxima.

Martins (2015), avaliou o uso da tecnologia LiDAR para classificação da capacidade produtiva de um povoamento de Eucalipto em duas microrregiões de Minas Gerais, concluindo que o LiDAR pode ser utilizado para o mapeamento e estratificação na situação do seu estudo.

A partir das métricas obtidas com os dados LiDAR, Leite e colaboradores (2020), comparou abordagens em área (ABA) e árvore individual (ITD) para estimar o volume de um povoamento florestal na região do Vale do Rio Doce em Minas Gerais. Em conclusão, foi constatado que a abordagem em área (ABA) foi mais precisa, especialmente pelo uso de Redes

Neurais Artificiais (RNA), porém, com o ITD foi possível obter medidas diretas da densidade de árvores e distribuição das alturas.

Mais do que variáveis dendométricas e a estimativa do volume em pé de uma floresta, Lauri e colaboradores (2008), estimaram o volume de madeira após o corte. Nesse estudo, foi utilizado *Pinus* sp. e pinho, imageada com um laser scanner ALTM 2033. Com erros quadráticos médios de 9,1 para populações simuladas e de 18,0 para populações reais, foi constatado que a tecnologia LiDAR também são capazes de estimar volumes de madeira colhida.

#### **2.4. Respaldo para implementação do LiDAR no inventário florestal**

Mesmo sendo uma tecnologia de custo elevado no Brasil, o LiDAR apresenta inúmeras aplicações, não só no setor florestal, mas nas áreas de construção civil e na agricultura de precisão, por exemplo. Os valores dos drones já acoplados com os sensores LiDAR estão entre R\$ 200.000,00 e 700.000,00 reais dependendo de suas especificações e componentes, mais os custos de manutenção e treinamento de funcionários.

De acordo com o relatório da Mordor Intelligence, espera-se que na América Latina o mercado da tecnologia LiDAR cresça a um nível de CAGR (*Compound Annual Growth Rate*) de 10.2% durante o período de 2020 a 2025. No que tange a lei de demanda e oferta do mercado, ao se aumentar a demanda por essa tecnologia, no setor florestal assim como em outras áreas, o preço de aquisição dos sensores tende a diminuir, se tornando um bem de consumo de fácil aquisição.

Com a popularização e redução dos custos relacionado aos levantamentos utilizando o LiDAR, além de trazer ganhos consideráveis em exatidão das variáveis dendométricas, há também a redução dos custos com o inventário florestal, principalmente em grandes áreas, uma vez que o uso da tecnologia permite uma redução do número de parcelas medidas em campo (LARANJA, *et al.*, 2023).

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

### 3.1. Caracterização da área de estudo

Para este estudo, foram considerados dados coletados em 12 talhões de *Eucalyptus* sp. com idades e áreas variadas (Tabela 1) em um projeto denominado Caxambú, pertencente à empresa Celulose Nipo-Brasileira S/A (CENIBRA). Afim de se obter resultados precisos, os 12 talhões foram selecionados com base na data de realização do inventário pré-corte que ocorreram até a terceira semana de agosto de 2022, correspondendo também ao mesmo período em que os projetos foram sobrevoados.

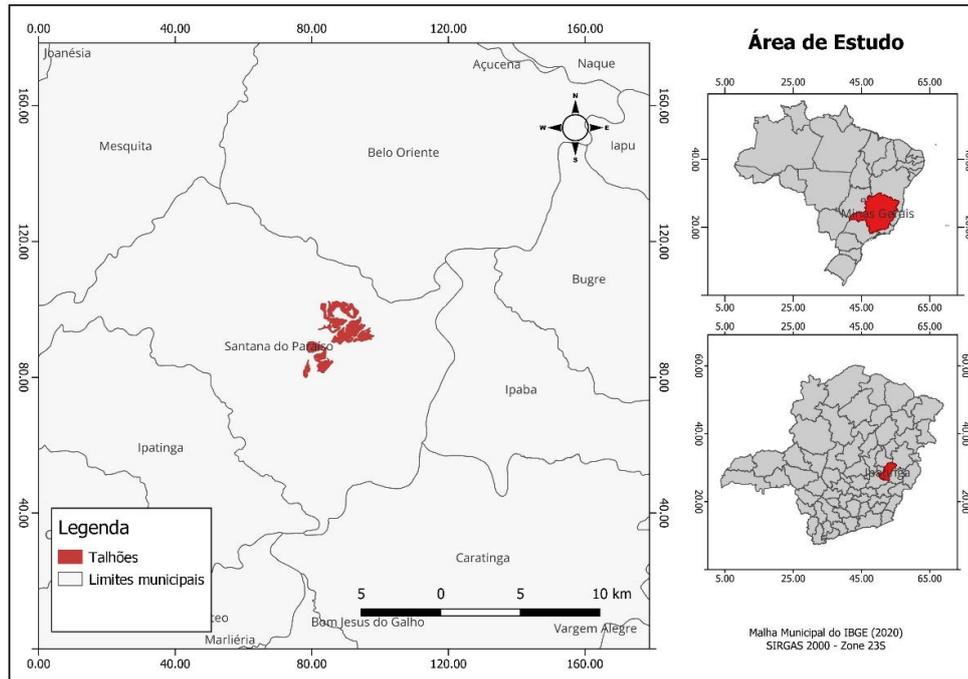
Tabela 1. Características dos talhões baseado em dados do inventário pré-corte.

<b>Talhão</b>	<b>Idade (anos)</b>	<b>Área (ha)</b>
A	9,1	46,42
B	9,1	17,28
C	5,6	27,19
D	5,6	36,37
E	5,6	27,73
F	5,7	18,14
G	6,4	20,69
H	6,3	45,37
I	6,3	26,41
J	6,3	46,44
K	6,2	55,21
L	6,2	61,14

Fonte: Da autora (2023).

O projeto está localizado em Santana do Paraíso, no colar metropolitano do Vale do Aço no estado de Minas Gerais, conforme ilustrado na Figura 2.

Figura 2 – Caracterização da área de estudo.



Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Adaptado: Itala C. O. Drumond (2023).

De acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger o clima na região é *Aw*, caracterizado como tropical quente semiúmido, ao longo do ano, a temperatura pode variar entre 17°C e 32°C. O Vale do Aço está inserido na depressão interplanática do Vale do Rio Doce, em que as zonas de rebaixa contém altitudes variando de 250 a 500 metros. A depressão caracteriza-se por uma topografia de colinas com declividade média, planícies fluviais colmatadas, rampas de colúvio e lagos de barragem natural, conforme consta no Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado (PDDI) da região Metropolitana do Vale do Aço.

### 3.2. Dados LiDAR

Os dados foram obtidos a partir de levantamentos realizados por uma empresa terceirizada, entre os meses de junho a agosto de 2022 com o sensor Laser Scan ALTM Gemini acoplado em um helicóptero. O voo foi realizado a 600 metros de altura, a uma velocidade de 130 km/h. As especificações são descritas na Tabela 2.

Tabela 2. Especificações da coleta de dados.

<b>Parâmetro</b>	<b>Especificações</b>
<i>Scanner</i>	<i>Laser Scan ALTM Gemini</i>
Altura do voo	600 m
Velocidade de Cruzeiro	130 km/h
Ângulo de abertura (FOV)	20°
Largura da faixa ( <i>Swath</i> )	436,3 m
Frequência de varredura	189 kHz
Densidade dos pontos	5 ppm (pontos por metro quadrado)

Fonte: Da autora (2023).

### 3.3. Processamento dos dados

O processamento dos dados foi realizado em diversas etapas, utilizando os plug-ins “*FUSION*” e “*WHITEBOX TOOLS*” no software QGIS versão 3.28. Inicialmente foi feita uma análise descritiva da nuvem de pontos utilizando o algoritmo *Catalog* do *FUSION*, tendo assim, uma descrição da classificação dos pontos, densidade de retornos nominal e número de retornos por classe, possibilitando a averiguação da qualidade da nuvem de pontos.

Posteriormente, realizou-se a filtragem dos pontos pertencentes ao solo, utilizando o comando *GroundFilter* para gerar o Modelo Digital de Terreno (MDT). No *FUSION*, este algoritmo tem como base o modelo de filtro de Kraus e Pfeifer (1998), do tipo interpolador, que, de forma interativa, diferencia os pontos pertencentes ao solo dos não pertencentes. O algoritmo pode ser resumido pelo sistema de Equação 2 (GORGENS, 2014).

Equação 2:

$$p_i = \begin{cases} 1 & v_i \leq g \\ \frac{1}{1 + (\alpha(v_i - g)^b)} & g < v_i \leq g + w \\ 0 & g + w < v_i \end{cases} \quad (2)$$

Em que:

$p_i$ : peso atribuído em um ponto  $i$ ;

$v_i$ : desvio entre o ponto  $i$  e a superfície de referência;

$w$ : tolerância relativa ao limite ( $g$ ) para cálculo dos pesos;

$a$  e  $b$ : parâmetros da função sigmoide que calcula os pesos proporcionais para pontos entre o limite ( $g$ ) e o limiar acrescido da tolerância ( $g + w$ ).

Por padrão, o algoritmo *GroundFilter* apresenta valores dos coeficientes a, b, g, w, como representados na Tabela 3, e são passíveis de ajuste quando inclusos ao comando.

Tabela 3. Parâmetros padrão do algoritmo *GroundFilter* e os valores automaticamente assinalados.

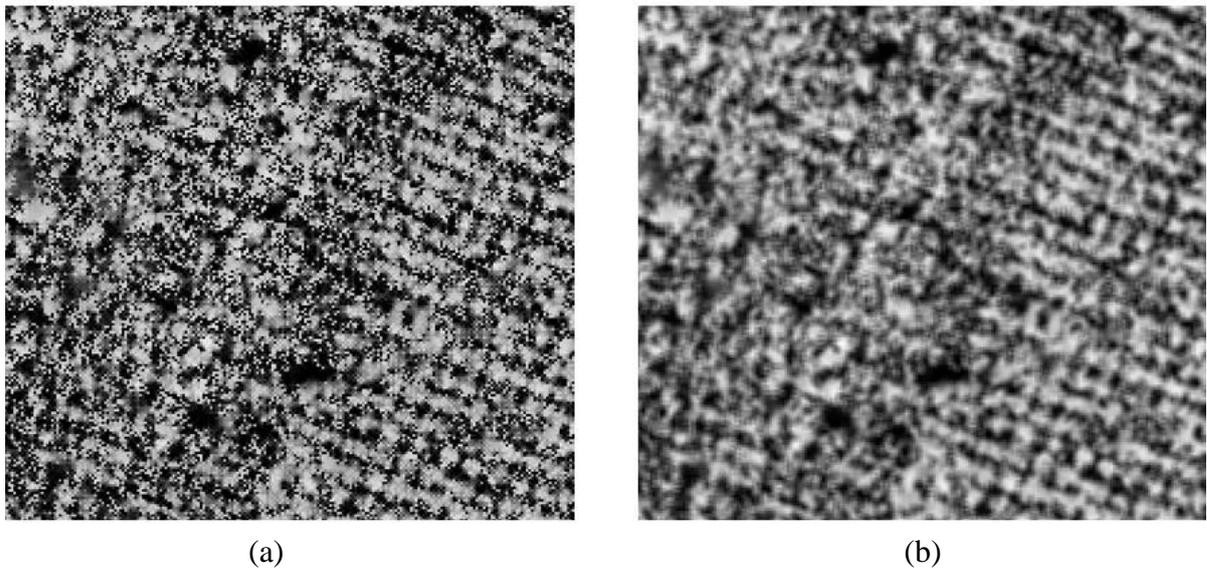
<b>Parâmetro opcional</b>	<b>Valor padrão</b>
<i>gparam</i>	-2
<i>wparam</i>	2,5
<i>aparam</i>	1
<i>bparam</i>	4
<i>tolerance</i>	0
<i>iterations</i>	5

Fonte: Gorgens *et al.* (2014).

Com os pontos pertencentes ao solo filtrados, gerou-se o Modelo Digital de Terreno (MDT - *Digital Terrain Models*) de todo o projeto a partir do comando *GridSurfaceCreate*. Antes de normalizar a nuvem de pontos, foi utilizado o comando *ClipLidarToPoligon* do *plug-in WHITEBOX TOOLS* para recortar as áreas de cada um dos 12 talhões.

Tendo a nuvem de pontos de cada talhão separadamente, foi gerado o Modelo Digital de Altura do dossel (CHM - *Canopy Hight Models*) dos talhões pelo comando *CanopyModel* que, quando utilizado para gerar o CHM, a elevação do solo interpolada do MDT é subtraída da elevação dos pontos de primeiro retorno. Ambos modelos, MDT do projeto e CHM dos talhões foram rasterizados para pixels de 0,30 x 0,30 metros, e aplicou-se um filtro de suavização de superfície pela média de 3 x 3 m no Modelo Digital de Altura do dossel, utilizando *Switches* opcionais e nativas do *plug-in FUSION*, afim de obter uma melhor resolução espacial, facilitando a visualização e diferenciação das copas das árvores, como é apresentado na Figura 3.

Figura 3 – Aplicação do filtro de suavização pela média (*Smooth*) de 3 x 3 janelas.

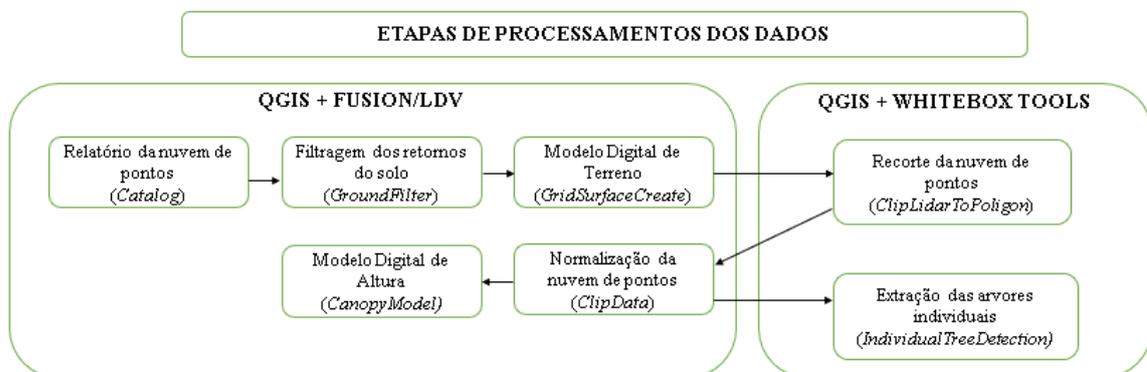


Legenda: CHM (*Canopy High Models*) padrão, com os picos preservados; (b) CHM com filtro de suavização.

Fonte: Da autora (2023).

Posteriormente, utilizou-se o Modelo Digital do Terreno na função *ClipData* do *FUSION* para a normalização dos dados dos talhões de interesse. Em seguida foi utilizado o algoritmo *IndividualTreeDetection* do *plug-in WHITEBOX TOOLS* para a detecção das árvores individuais diretamente da nuvem normalizada, bem como a sua altura. As etapas de processamento e as ferramentas utilizadas estão esquematizadas na Figura 4.

Figura 4 – Etapas do processamento de dados.



Fonte: Da autora (2023).

Buscando uma detecção mais precisa, foram utilizados vários parâmetros de raio mínimo de pesquisa e altura mínima no comando *IndividualTreeDetection*. Para a escolha dos

parâmetros optou-se por um planejamento univariado, onde estes são testados um a um. De acordo com a altura máxima obtida em cada Modelo Digital de Altura do dossel dos talhões, foram testados raios de pesquisa de 1 a 2 metros, e altura mínima de 10 a 20 metros para os talhões de 5,6 a 6,2 anos, e altura mínima de 10 a 25 metros para os talhões com mais de 9 anos, conforme descrito na Tabela 4.

Tabela 4. Planejamento univariado de parâmetros para detecção de árvores individuais.

Talhão de 5,6 à 6,2 anos		Talhão de > 9 anos	
Raio de pesquisa (m)	Altura mínima (m)	Raio de pesquisa (m)	Altura mínima (m)
1,00	10,00	1,00	10,00
1,20	15,00	1,20	15,00
1,50	17,00	1,50	17,00
1,75	20,00	1,75	20,00
2,00		2,00	25,00

Fonte: Da autora (2023).

### 3.4. Estimativa do volume

Considerando o número de fustes estimado pelo *WHITEBOX TOOLS*, bem como as alturas em cada ponto e a equação (3) de modelo volumétrico, foi estimada o volume individual de cada fuste dentro dos talhões.

$$V = \frac{\pi * DAP^2}{40000} * Ht * f \quad (3)$$

Em que,

V: volume;

$\pi$ : 3,1416;

DAP: diâmetro a 1,30 m do solo, estimado para o talhão no IPC;

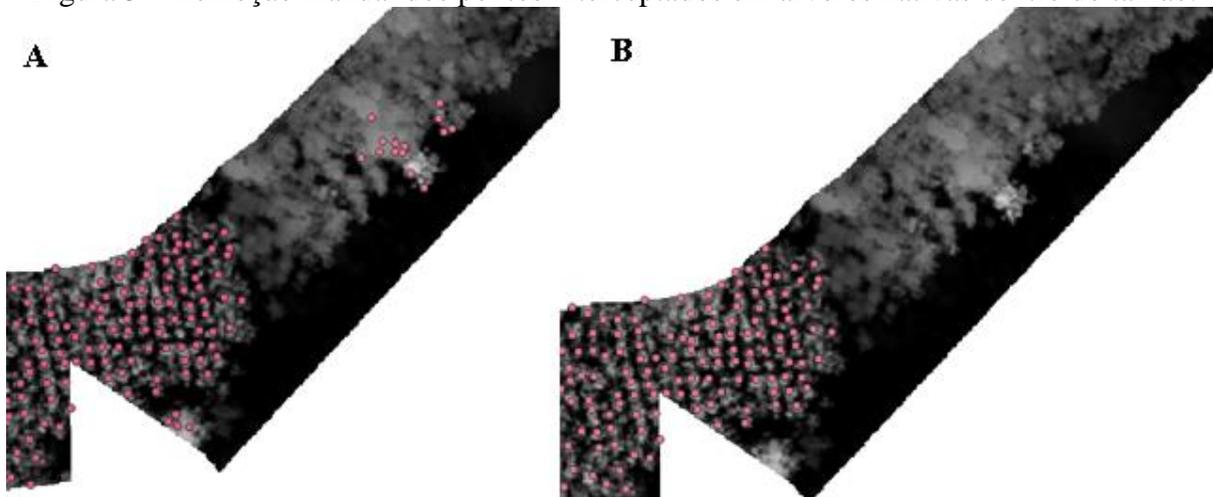
Ht: altura;

f: fator de forma utilizado pela empresa, de 0,45.

Antes de aplicar a equação 3, foi observado através do Modelo Digital de Altura do dossel, mediante a diferença de texturas dos *pixels*, a existência de árvores nativas no interior de alguns talhões, bem como na borda de outros. A fim de evitar a superestimação do número

de fustes e conseqüentemente no volume final, foi removido manualmente os pontos que interceptaram as árvores nativas, como representado na Figura 5.

Figura 5 – Remoção manual dos pontos interceptados em árvores nativas dentro do talhão.



Legenda: (A) Produto gerado pelo algoritmo do *WHITEBOX*. (B) Remoção manual dos pontos que indicavam textura de árvores nativas.

Fonte: Da autora (2023).

Com a individualização das copas das árvores através do plug-in *WHITEBOX*, obteve-se também a maior altura de cada indivíduo detectado pelos parâmetros de raio de pesquisa considerado a altura mínima informada no comando *IndividualTreeDetection*.

Sendo os resultados do inventário pré-corte concedidos pela empresa Celulose Nipo-Brasileira (CENIBRA) que, foi realizado por lote de condução do plantio, ou seja, pelo ano em que o talhão foi implantado, em parcelas de 15 x 20 metros a cada 3 hectares, neste estudo foi utilizado para todas as árvores detectadas em cada talhão o DAP médio estimado no IPC. Considerando o fator de forma médio utilizado pela empresa de 0,45 e a altura em cada ponto, através da equação 3 foi estimado o Volume Médio Individual (VMI) para cada copa detectada.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Identificação das árvores individuais

A partir do planejamento univariado dos parâmetros de janela de busca e altura mínima do comando *IndividualTreeDetection*, conforme a Tabela 4, os valores que representaram

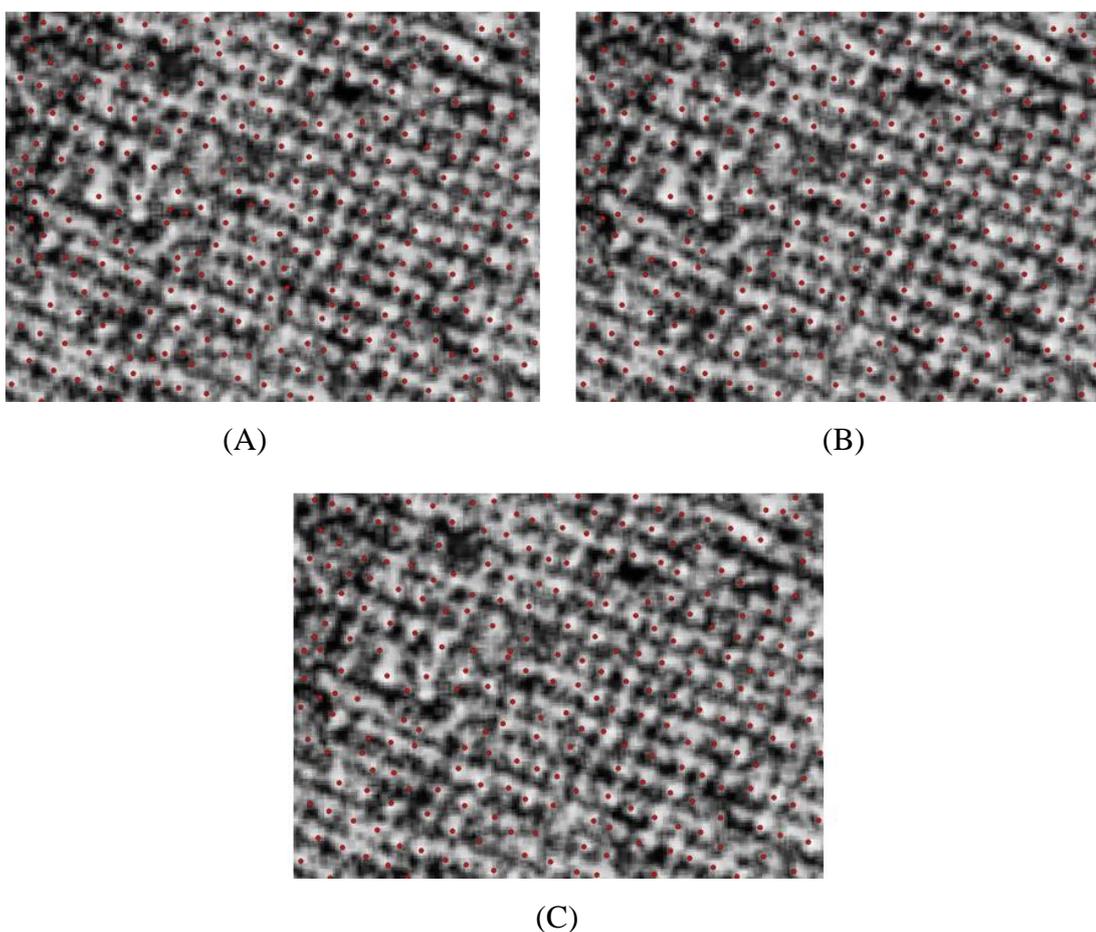
melhor a identificação do ápice das copas no Modelo Digital de Altura do dossel para todos os talhões, foram as combinações descritas pela Tabela 5 e podem ser observadas na Figura 6.

Tabela 5. Combinações de parâmetros selecionadas de raio de pesquisa e altura mínima.

<b>Raio de pesquisa (m)</b>	<b>Altura mínima (m)</b>
1,20	15,00
1,50	10,00
1,50	17,00

Fonte: Da autora (2023).

Figura 6 – Resultado da combinação de parâmetros selecionados.



Legenda: (A) Raio de pesquisa de 1,20 metros e altura mínima de 15 metros (B) Raio de pesquisa de 1,50 metros e altura mínima de 10 metros (C) Raio de pesquisa de 1,50 metros e altura mínima de 17 metros.

Fonte: Da autora (2023).

Entre as combinações selecionadas houveram algumas diferenças quanto ao número de fustes encontrados, isso devido principalmente ao tamanho do raio de pesquisa. Apesar da diferença mínima entre os raios, foi perceptível que a janela de 1,20 metros resultou em um

maior número de fustes em relação as demais, fazendo com que a escolha da altura também fosse significativa para uma melhor taxa de precisão na detecção das árvores individuais.

#### 4.2. Distribuição das alturas

Tratando-se de um modelo volumétrico genérico e, considerando a utilização DAP igual ao resultado médio do inventário pré-corte para todas as árvores encontradas em cada talhão, a análise gráfica da distribuição das alturas a partir de cada combinação dos parâmetros de raio de pesquisa e altura mínima verificou-se a frequência.

Sendo as alturas de corte da análise gráfica 15, 18, 21, 24, 27, 30, 33 e 36 metros respectivamente, para todos os talhões estudados neste trabalho, a Tabela 8 mostra uma comparação entre a altura média estimada para cada talhão no inventário pré-corte e as alturas de corte que tiveram maiores frequências para as 3 combinações de parâmetros. Com exceção dos talhões B e L as maiores frequências de altura estimada pelo comando *IndividualTreeDetection* foi compatível com a altura média estimada pelo IPC em cada talhão, conforme descrito pela Tabela 8 e Figura 7.

Tabela 8. Análise comparativa entre a altura média estimada no inventário pré-corte e as maiores frequências nas classes de corte da altura.

Talhão	Altura média IPC (m)	Altura frequência classe (m)
A	22,8	21 - 24
B	23,9	27 - 30
C	23,3	21 - 24
D	21,2	18 - 21
E	22,3	18 - 21
F	23,8	21 - 24
G	22,2	21 - 24
H	23,2	21 - 24
I	25,8	21 - 24
J	22,5	21 - 24
K	22,8	21 - 24
L	22,1	18 - 21

Fonte: Da autora (2023).

Figura 7. Análise gráfica do número de fustes encontrado em cada classe de tamanho de altura em cada combinação parâmetros. Continuação.

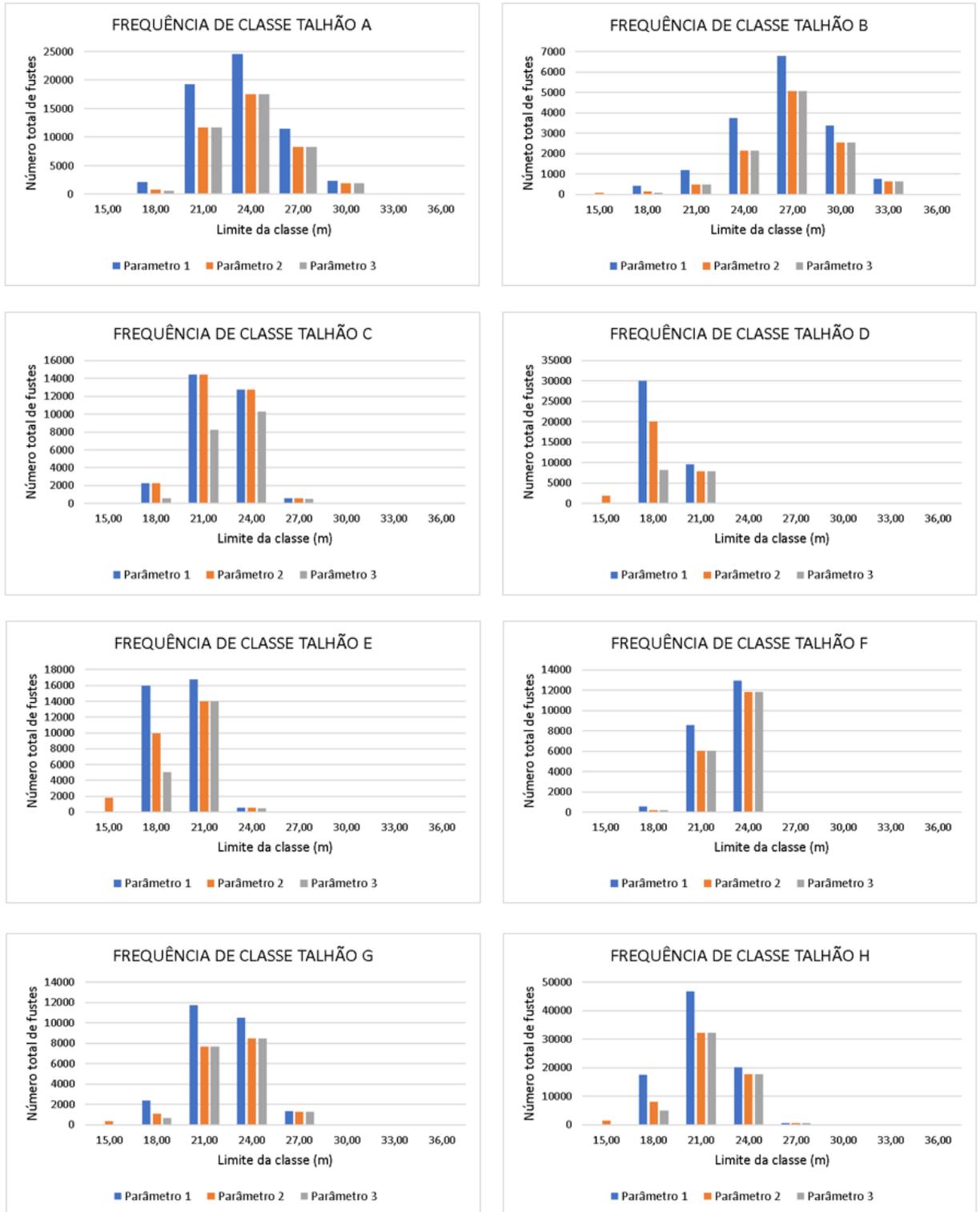
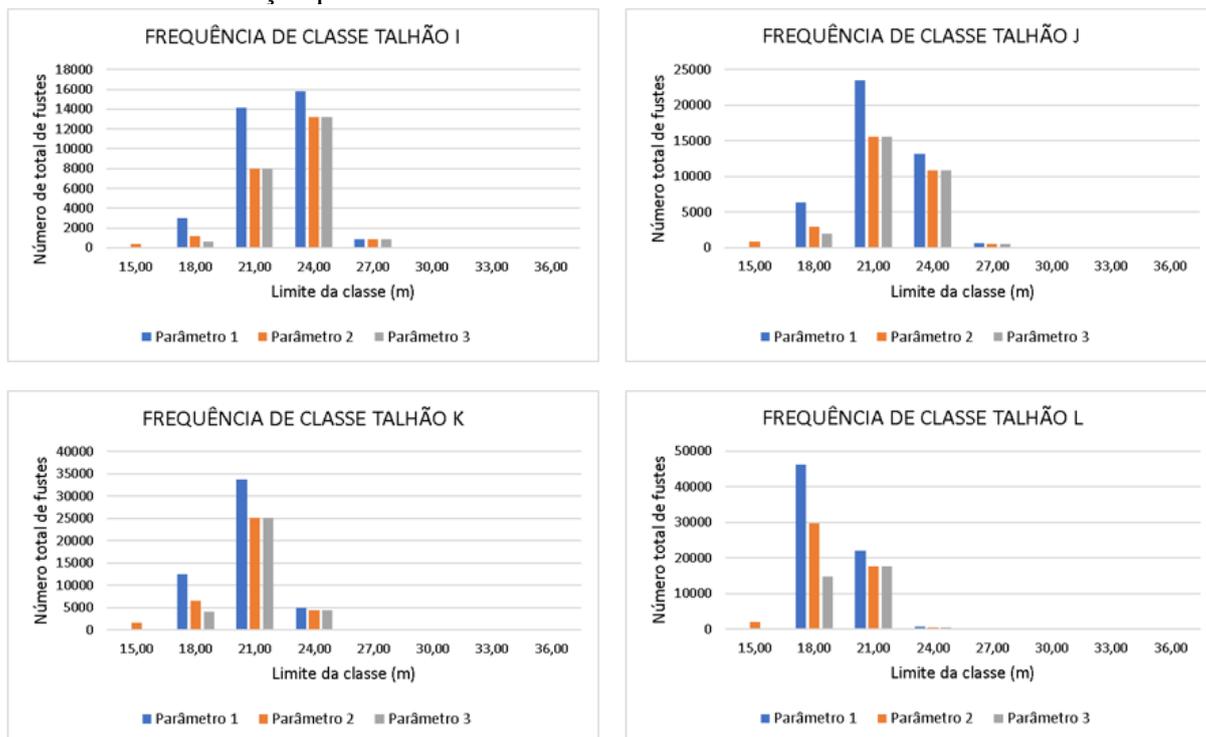


Figura 7. Análise gráfica do número de fustes encontrado em cada classe de tamanho de altura em cada combinação parâmetros. Conclusão.



Legenda: Parâmetro 1 ( raio de pesquisa: 1,2 m; altura mínima: 15 m), parâmetro 2 ( raio de pesquisa: 1,5 m; altura mínima: 10 m) parâmetro 3 ( raio de pesquisa: 1,5 m; altura mínima: 17 m).

Fonte: Da autora (2023).

### 4.3. Estimativa do volume

Os resultados do processamento foram gerados e calculados para cada talhão de acordo com o raio de pesquisa e altura mínima selecionadas. Utilizando a análise estatística do *software* QGIS, foi obtido o número total de fustes, volume médio individual de cada árvore, e o volume total estimado para os talhões, conforme a Tabela 6.

Tabela 6. Resultado do processamento por talhão em diferentes raios de pesquisa e altura mínima.

<b>Talhão</b>	<b>Idade (anos)</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>N° Fustes</b>	<b>VMI Fuste</b>	<b>Volume (talhão)</b>
<b>Raio de pesquisa 1,20 m e altura mínima 15 m</b>					
A	9,1	46,42	59.961	0,1917	11496,1
B	9,1	17,28	16.357	0,2169	3551,07
C	5,6	27,19	30.088	0,1523	4582,38
D	5,6	36,37	40.244	0,1052	4232,13
E	5,6	27,73	33.497	0,1237	4144,19
F	5,7	18,14	22.121	0,1469	3248,79
G	6,4	20,69	26.024	0,1508	3924,62
H	6,3	45,37	82.245	0,1546	13178,1
I	6,3	26,41	33.856	0,1942	6573,52
J	6,3	46,44	43.569	0,1507	6567,57
K	6,2	55,21	51.320	0,1379	7042,97
L	6,2	61,14	69.125	0,1212	8428,84
<b>Raio de pesquisa 1,50 m e altura mínima 10 m</b>					
A	9,1	46,42	40.472	0,1937	7840,79
B	9,1	17,28	11.161	0,2208	2464,16
C	5,6	27,19	20.281	0,1545	3133,96
D	5,6	36,37	30.028	0,1050	3153,31
E	5,6	27,73	26.339	0,1232	3243,81
F	5,7	18,14	18.220	0,1482	2699,37
G	6,4	20,69	18.892	0,1534	2880,9
H	6,3	45,37	60.256	0,1565	942,03
I	6,3	26,41	23.578	0,1974	4655,32
J	6,3	46,44	30.661	0,1519	4657,25
K	6,2	55,21	37.687	0,1376	5185,49
L	6,2	61,14	49.990	0,1222	6106,85
<b>Raio de pesquisa 1,50 m e altura mínima 17 m</b>					
A	9,1	46,42	40.041	0,1944	7785,35
B	9,1	17,28	11.021	0,2220	2446,9
C	5,6	27,19	16.407	0,1113	1826,69
D	5,6	36,37	18.127	0,1484	2690,35
E	5,6	27,73	19.623	0,1292	2534,96
F	5,7	18,14	18.127	0,1484	2690,35
G	6,4	20,69	18.093	0,1545	2794,83
H	6,3	45,37	55.689	0,1595	8884,29
I	6,3	26,41	22.671	0,1998	4529,69
J	6,3	46,44	28.792	0,1546	4450,5
K	6,2	55,21	33.776	0,1411	4764,52
L	6,2	61,14	33.029	0,1278	4221,95

Fonte: Da autora (2023).

Analisando separadamente o resultado de cada raio de pesquisa e altura mínima em comparação com os resultados do inventário pré-corte que, foi realizado por lote de implementação do plantio, em parcelas de 15 x 20 metros a cada 3 hectares, e dado em médias

por hectare de cada talhão, a Tabela 7, apresenta resultados com raio de pesquisa igual a 1,20 metros e altura mínima de 15 metros.

Tabela 7. Análise comparativa dos resultados da primeira combinação selecionada (Raio de pesquisa de 1,20 metros e altura mínima de 15 metros).

Talhão	Processamento		Inventário pré-corte			
	N° Fustes (ha)	Volume (ha)	N° Fustes (ha)	Volume (ha)	DIF <sub>Fuste</sub> (%)	DIF <sub>Vol</sub> (%)
A	1291,71	247,65	1296,31	250,22	0%	1%
B	946,59	205,50	1159,19	246,16	18%	17%
C	1106,58	168,53	1134,02	193,99	2%	13%
D	1106,52	116,36	1268,81	166,82	13%	30%
E	1207,97	149,45	1153,45	175,45	-5%	15%
F	1219,46	179,10	1248,09	205,70	2%	13%
G	1257,81	189,69	1151,91	185,51	-9%	-2%
H	1812,76	290,46	1141,02	208,59	-59%	-39%
I	1281,94	248,90	1215,55	288,73	-5%	14%
J	938,18	141,42	1165,75	195,54	20%	28%
K	929,54	127,57	1160,16	192,54	20%	34%
L	1130,60	137,86	1281,85	197,14	12%	30%

Fonte: Da autora (2023).

No parâmetro utilizando raio de pesquisa 1,2 metros e altura mínima de 15 metros, nos talhões G e H houveram superestimação de 4,18 m<sup>3</sup> e 106 fustes e 81,87 m<sup>3</sup> e 672 fustes por hectare respectivamente. Os talhões A, B, C, D, E, F, I, J, K, e L obtiveram subestimação no número de fustes e volume por hectare.

Com essa primeira análise pode-se notar uma diferença considerativa no talhão H. Considerando o valor “real” como o do IPC fornecido pela empresa, uma vez que não foi possível obter o volume que realmente chegou à fábrica, houve uma diferença de 672 fustes e 81,87 m<sup>3</sup> por hectare a mais pelo método de estimativa adotado no presente estudo. Verificando imagens de satélite de anos anteriores, foi visto áreas de baixada e topos de morro que apresentavam heterogeneidade em relação a área total do talhão. Dada as circunstâncias do relevo e declividade da região que, além impor desafios operacionais no plantio e que, consequentemente, afetam a qualidade geral da floresta final, podem prejudicar a qualidade do Modelo Digital do Terreno principalmente levando em consideração o filtro utilizado e seus parâmetros, fazendo com que se perca a precisão na normalização da nuvem de pontos e nas estimativas utilizando o LiDAR.

Considerando o primeiro parâmetro, com raio de pesquisa de 1,2 metros e altura mínima de 15 metros, e adotando arbitrariamente uma diferença volumétrica mínima de 50 m<sup>3</sup> de

madeira em pé por hectare, para mais ou para menos, foi constatado que 67% dos talhões obtiveram resultados parecidos com o inventário pré-corte da empresa.

Ao se estimar o número de fustes e volume médio por hectare, é necessário conhecer a área real do plantio. Tomando como exemplo o talhão H, e o *shape* utilizado para a delimitação de cada talhão, vemos algumas áreas de floresta e árvores nativas pelo talhão, como é apresentado na Figura 8.

Figura 8 – Árvores e remanescentes de áreas nativas no meio do talhão.



Legenda: Talhão H com sua delimitação e algumas árvores nativas em seu interior após a colheita.  
Fonte: Da autora (2023).

Tomando o talhão H como exemplo, uma variável que pode ter causado a superestimação pelo LiDAR em alguns talhões, é a existência de árvores nativas dentro do talhão. Devido ao algoritmo não diferenciar árvores nativas de plantadas, vários pontos podem ter sido interceptados em árvores nativas, aumentando assim a estimativa no número de fustes.

Outro fator que pode ter interferido na assertividade da estimativa do número de fustes e foi estudado por Oliveira e colaboradores (2011), é a influência da idade na contagem de árvores individuais. Na metodologia proposta pelos autores, envolvendo o filtro de Local Máxima, percebeu-se que, os melhores resultados observados foram obtidos em idade de 3 e 5 anos. Foi proposto ainda que, o resultado do estudo pode ter sido devido ao fato de árvores terem sido suprimidas conforme o crescimento da floresta, e conseqüentemente não terem sido contabilizadas pelo algoritmo.

Em relação as outras duas combinações, mesmo representando bem o ponto mais alto das copas nas imagens de Modelo Digital de Altura do dossel, comparando com o IPC, houve subestimação no número de fustes e volume final, como é apresentado na Tabela 8 e Tabela 9.

Tabela 8. Análise comparativa dos resultados da segunda combinação selecionada (Raio de pesquisa de 1,50 metros e altura mínima de 10 metros).

Talhão	Processamento		Inventário pré-corte		DIF <sub>Fuste</sub> (%)	DIF <sub>Vol</sub> (%)
	Nº Fustes (ha)	Volume (ha)	Nº Fustes (ha)	Volume (ha)		
A	871,87	168,91	1296,31	250,22	33%	32%
B	645,89	142,60	1159,19	246,16	44%	42%
C	745,90	115,26	1134,02	193,99	34%	41%
D	825,63	86,70	1268,81	166,82	35%	48%
E	949,84	116,98	1153,45	175,45	18%	33%
F	1004,41	148,81	1248,09	205,70	20%	28%
G	913,10	139,24	1151,91	185,51	21%	25%
H	1328,10	20,76	1141,02	208,59	-16%	90%
I	892,77	176,27	1215,55	288,73	27%	39%
J	660,23	100,29	1165,75	195,54	43%	49%
K	682,61	93,92	1160,16	192,54	41%	51%
L	817,63	99,88	1281,85	197,14	36%	49%

Fonte: Da autora (2023).

Tabela 9. Análise comparativa dos resultados da terceira combinação selecionada (Raio de pesquisa de 1,50 metros e altura mínima de 17 metros).

Talhão	Processamento		Inventário pré-corte		DIF <sub>Fuste</sub> (%)	DIF <sub>Vol</sub> (%)
	Nº Fustes (ha)	Volume (ha)	Nº Fustes (ha)	Volume (ha)		
A	862,58	167,72	1296,31	250,22	33%	33%
B	637,79	141,60	1159,19	246,16	45%	42%
C	603,42	67,18	1134,02	193,99	47%	65%
D	498,41	73,97	1268,81	166,82	61%	56%
E	707,65	91,42	1153,45	175,45	39%	48%
F	999,28	148,31	1248,09	205,70	20%	28%
G	874,48	135,08	1151,91	185,51	24%	27%
H	1227,44	195,82	1141,02	208,59	-8%	6%
I	858,42	171,51	1215,55	288,73	29%	41%
J	619,98	95,83	1165,75	195,54	47%	51%
K	611,77	86,30	1160,16	192,54	47%	55%
L	540,22	69,05	1281,85	197,14	58%	65%

Fonte: Da autora (2023).

Estudos realizados por Danson e colaboradores (2007) e Tesfamichel (2010) apontaram que o imageamento com LiDAR tende a subestimar o Índice de Área Plantada (IAP)

e a altura das árvores individuais de acordo com a qualidade e densidade da nuvem de pontos, seja pelo pulso não ter atingido o solo ou por não interceptar o verdadeiro ápice da árvore.

Em seus estudos, Oliveira (2011) atribuiu a subestimação do número de árvores a supressão dos indivíduos nas imagens de CHM e na nuvem de pontos devido à combinação do espaçamento utilizado no plantio e a ação do vento nas diferentes passagens da aeronave pelo povoamento. Isso, juntamente com a qualidade e densidade de pontos e o tamanho da janela de busca utilizada nos filtros, podem causar ruídos no qual dificulta a precisão das estimativas dendométricas.

## **5. LIMITAÇÕES NA APLICAÇÃO DA METODOLOGIA**

Durante o estudo do presente trabalho, a primeira limitação encontrada foi a falta do *shapefile* com a localização e delimitação das parcelas lançadas no inventário pré-corte, que fora realizado por uma empresa terceirizada. A segunda limitação foi em relação aos dados de cada indivíduo dentro das parcelas inventariadas, que também não foi possível de se obter. Esses dois dados são essenciais para realizar o ajuste de uma equação volumétrica utilizando as métricas extraídas da nuvem de pontos do LiDAR.

Diante da impossibilidade de se fazer uma análise de regressão para chegar aos coeficientes de uma equação volumétrica ou da aplicação de uma relação hipsométrica inversa, estimando o DAP de cada indivíduo detectado a partir da altura obtida no comando *IndividualTreeDetection* do *plug-in WHITEBOX TOOLS*, o único meio para se obter o volume do povoamento foi a utilização de uma equação volumétrica genérica.

## **6. CONCLUSÃO**

A estimativa do número de fustes e conseqüentemente do volume dos talhões utilizando dados LiDAR apresentou resultados consistentes com os dados do inventário florestal. Dentre as combinações de parâmetros, a que mais se aproximou dos resultados do inventário pré-corte foi o raio de pesquisa igual a 1,20 metros e altura mínima de 15 metros.

Mesmo utilizando uma equação genérica, conhecendo a altura de cada indivíduo do povoamento florestal e tendo dados de qualidade sobre diâmetro médio das árvores dentro do talhão, é possível chegar a uma estimativa satisfatória do volume de madeira em pé.

Devido a busca de árvores individuais diretamente da nuvem de pontos, cabe ao profissional que analisa e processa os dados conhecer as características do talhão para usar uma combinação que melhor irá representar a realidade do campo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, M. V. G. **Estimativa de variáveis florestais com perfilamento a laser (LiDAR)**. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, 2010.

CARVALHO, Samuel *et al.* **Predição do volume de árvores integrando Lidar e Geoestatística**. Scientia Forestalis, Piracicaba, v. 43, n. 107, p. 627-637, 2015.

NASCENTES COELHO, André Luiz. Bacia hidrográfica do Rio Doce (MG/ES): uma análise socioambiental integrada. **Geografares**, [S. l.], n. 7, 2009. DOI: 10.7147/GEO7.156. Disponível em: <https://periodicos.ufes.br/geografares/article/view/156>. Acesso em: 2 set. 2023.

Colaço A., Trevisan R., Eitelwein M., Molin J. **Sensor LiDAR (Light detection and ranging) para obtenção de modelos tridimensionais de culturas de porte arbóreo**. Departamento de Engenharia de Biosistemas, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP. X Congresso de Agroinformática, 2015.

Danson, F. M.; Hetherington, D.; Morsdorf, F.; Koetz, B.; Allgower, B. Forest canopy gap fraction from terrestrial laser scanning. **IEEE Geoscience and remote sensing letters**, v. 4, n. 1, p. 157-160, 2007.

Figueiredo E., d'Oliveira M., Fearnside P., Papa D. Modelos para estimativa de volume de árvores individuais morfometria da copa obtida com LiDAR. **CERNE**. v. 20 n. 4 p. 621-628, 2014.

Floriano, Eduardo Pagel. **Inventário florestal** / Eduardo Pagel Floriano - Rio Largo: Edição do autor, 2021.

Giongo M, *et al.*: **Princípios e aplicações florestais**. Pesquisa Florestal Brasileira, Colombo, v. 30, n. 63, p. 231-244, ago./out. 2010.

Instituto Nacional de Meteorologia. **Dados meteorológicos históricos anuais do Brasil**. Ministério da Agricultura e Pecuária. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos>>. Acesso em: 22/02/2023.

Korhonen Lauri, *et al.* **O uso de varredura a laser aerotransportada para estimar volumes de madeira serrada**, *Forestry: An International Journal of Forest Research*, Volume 81, Edição 4, outubro de 2008 , Páginas 499–510.

Lage G. *et al.* Identificação e determinação da altura das árvores e *Eucalyptus SP* a partir de dados LiDAR e avaliação dos resultados por meio de ortofotos e medidas de campo. **Caminhos de Geografia Uberlândia-MG**, v. 23, n. 89 out./2022 p. 189–201.

Leite, R.*et al.* **Estimando o volume do caule em plantações de eucalipto usando LiDAR aerotransportado: uma comparação entre abordagens baseadas em áreas e árvores individuais.** *Sensoriamento Remoto* 2020, 12 (9), 1513.

Li, N. *et al.* **A Progress Review on Solid-State LiDAR and Nanophotonics-Based LiDAR Sensors.** *Laser Photonics Rev* 2022, 16, 2100511.

MACEDO, R.C. **Prognose madeireira de plantio clonal de Eucalyptus spp. através de dados derivados de LIDAR aerotransportado.** 2009. 133 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) INPE – Instituto de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

MARKETERSANDMARKETERS. LiDAR market by component (laser scanners, navigation & positioning systems), Type (solid state, mechanical), Installation Type (airborne and ground based), Range, Service, End-use Application, Region - Global Forecast to 2028. Published date: Jan 2023. Disponível em: <<https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/lidar-market-1261.html>>. Acesso em: 21/02/2023.

Martins M., Costa E., Marangon G. Estimativas Volumétricas em plantios de eucalipto para duas mesorregiões do Rio Grande do Sul. **BIOFIX Scientific Journal** v. 6 n. 1 p. 28-36, 2021.

Martins, Bruno Ferraz. **Uso da tecnologia LiDAR para classificação da capacidade produtiva de povoamentos de Eucalipto.** 2015. 31 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa – UFV. Viçosa, MG, 2015.

Mega, C. P., Kuplich, T. M. **Aplicações florestais do lidar aerotransportado no Brasil** – Uma Revisão. XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Abril de 2019. Santos, SP.

MORDORINTELLIGENCE. **Tamanho do mercado LiDAR da América Latina Análise de participação** - Tendências de crescimento e previsões (2023 - 2028). Disponível em: <<https://www.mordorintelligence.com/pt/industry-reports/latin-america-lidar-market>>. Acesso em: 15/11/2023.

Oliveira L. *et al.* **Determinação do volume de madeira em povoamento de eucalipto por escâner a laser aerotransportado**. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.49, n.9, p.692-699, set. 2014.

Queiroz, Waldenei. **Travassos de Amostragem em inventário florestal** / Waldenei Travassos de Queiroz. -- Belém: Universidade Federal Rural da Amazônia, 2012.

Raj, T. *et al.* **A survey on LiDAR Scanning Mechanisms**. *Electronics* 2020, 9, 741.

SATO, Luciane Yumie. **Tecnologia lidar para quantificação dos impactos de incêndios na estrutura florestal no Sudoeste da Amazônia**. 2016. 128 f. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. São José dos Campos, SP, 2017.

TESFAMICHAEL, S. G.; van AARDT, J. A. N.; AHMED, F. Estimating plot-level tree height and volume of *Eucalyptus grandis* plantations using small-footprint, discrete return lidar data. *Progress in Physical Geography*, v. 34, n. 4, p. 515-540, 2010.

UNILESTE. **Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado – PDDI – Região Metropolitana do Vale do Aço**. Agosto de 2014. Disponível em <[http://web.archive.org/web/20160303184721/http://www.unilestemg.br/pddi/arq/doc/documentos-oficiais/2014/PDDI\\_DIAGNOSTICO\\_VOL1.pdf](http://web.archive.org/web/20160303184721/http://www.unilestemg.br/pddi/arq/doc/documentos-oficiais/2014/PDDI_DIAGNOSTICO_VOL1.pdf)>. Acesso em: 25/09/2023

ZONETE, M. F. **Análise do uso da tecnologia laser aerotransportado para inventários florestais em plantios clonais de *Eucalyptus sp.* no sul da Bahia**. 2009. 95 p. Dissertação

(Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz -  
Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP.