

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
MINAS GERAIS – *CAMPUS* SÃO JOÃO EVANGELISTA
BACHARELADO EM ENGENHARIA FLORESTAL

Ícaro Tadeu Marques Perdigão

**MENSURAÇÃO DA ALTURAS DE ÁRVORES EM DIFERENTES ESTÁGIOS DE
REGENERAÇÃO NATURAL UTILIZANDO VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO**

São João Evangelista – MG

Junho 2022

ÍCARO TADEU MARQUES PERDIGÃO

**MENSURAÇÃO DA ALTURA DE ÁRVORES EM DIFERENTES ESTÁGIOS DE
REGENERAÇÃO NATURAL UTILIZANDO VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Federal de Minas Gerais - *Campus São João Evangelista* como exigência parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador: Philipe Guilherme Corcino Souza

Coorientador: Adéliton da Fonseca de Oliveira

São João Evangelista – MG

Junho 2022

P433m Perdigão, Ícaro Tadeu Marques.

Mensuração das alturas de árvores em diferentes estágios de regeneração natural utilizando veículo aéreo não tripulado - Ícaro Tadeu Marques Perdigão - 2022

44 f.: il.

Orientador : Philipe Guilherme Corcino Souza.
Coorientador: Adéliton da Fonseca de Oliverira

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) – Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – *Campus São João*
Evngelista

1. VANT, ARP, MDT, MDS MDAD.
I.Título.

CDD 634.9

Ficha Catalográfica – Bibliotecária Nirley Dias Leandro CRB 6 239.94

Ícaro Tadeu Marques Perdigão

**MENSURAÇÃO DA ALTURA DE ÁRVORES EM DIFERENTES ESTÁGIOS DE
REGENERAÇÃO NATURAL UTILIZANDO VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Instituto Federal de Minas Gerais - *Campus*
São João Evangelista como exigência parcial
para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Florestal.

Orientador: Philipe Guilherme Corcino Souza

Coorientador: Adéilton da Fonseca de Oliveira

Aprovado em: 03 / 06 / 2022 pela banca examinadora:



Prof. Me. Philipe Guilherme Corcino Souza (Orientador)
Instituto Federal de Minas Gerais – *Campus* São João Evangelista



Prof. Me. Adéilton da Fonseca de Oliveira
Instituto Federal de Minas Gerais – *Campus* São João Evangelista



Prof. Dra. Mayara Maria de Lima Pessoa
Instituto Federal de Minas Gerais – *Campus* São João Evangelista



Prof. Dr. Bruno Oliveira Lafetá
Instituto Federal de Minas Gerais – *Campus* São João Evangelista

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, a Deus, que fez com que meus objetivos fossem alcançados, durante todos os meus anos de estudos.

A minha mãe, meu padrasto, irmãos e namorada, por todo o apoio e pela ajuda, que muito contribuíram para a realização deste trabalho. Aos amigos, que sempre estiveram ao meu lado, pela amizade incondicional e pelo apoio demonstrado ao longo de todo o período de tempo em que me dediquei a este trabalho.

Aos professores Adéliton da Fonseca de Oliveira e Philipe Guilherme Corcino Souza, por ter sido meus orientadores e ter desempenhado tal função com dedicação e amizade.

Aos meus colegas de curso, com quem convivi intensamente durante os últimos anos, pelo companheirismo e pela troca de experiências que me permitiram crescer não só como pessoa, mas também como formando.

À instituição de ensino IFMG – *Campus* São João Evangelista, essencial no meu processo de formação profissional, pela dedicação, e por tudo o que aprendi ao longo dos anos do curso.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Fitofisionomias do domínio Mata Atlântica.....	08
Figura 2 - Situação do município de São João Evangelista.....	15
Figura 3 - VANT Phantom 4 Advanced.....	16
Imagem 1: Vista panorâmica das áreas trabalhadas.....	17
Figura 4 - Ilustração geral das áreas e estudos.....	18
Figura 5: Fluxograma sobre as etapas de processamento no software Agisoft Metashape.....	20
Figura 6 - Interface do aplicativo DroneDeploy e parâmetros de voo configurados...	21
Figura 7: Fluxograma sobre as etapas de processamento no software Fusion.....	22
Figura 8: Fluxograma sobre a geração dos modelos.....	23
Figura 9: Alinhamento das fotos área 1, 2 e 3 obtidas.....	25
Figura 10: Alinhamento das fotos área 4 e 5.....	25
Figura 11: Nuvem densa de pontos da área 1, 2 e 3.....	25
Figura 12: Nuvem densa de pontos da área 4 e 5.....	25
Figura 13: Dispersão das alturas medidas, em relação as classes de altura e tamanho de copas.....	26
Figura 14 - Comparação entre a densidade visual das copas e o resultado obtido na equação (1). (A e B – Copa com boa densidade foliar vista no ortomosaico e o MDAD; C e D – Copa com baixa densidade foliar vista no ortomosaico e o MDAD).....	27
Figura 15: MDAD do fragmento 1 da área estágio inicial.....	28
Figura 16: MDAD do fragmento 2 da área estágio inicial.....	29
Figura 17 - Modelo ajustado e parâmetros obtidos com a regressão linear, a partir de 20 árvores de estágio inicial.....	29
Figura 18 - MDAD da área estágio intermediário.....	30
Figura 19 - Modelo ajustado e parâmetros obtidos com a regressão linear, a partir de 30 árvores de estágio intermediário.....	31
Figura 20 - MDAD do fragmento 1 da área 3.....	32
Figura 21 - MDAD do fragmento 2 da área 3.....	32
Figura 22 - Modelo ajustado e parâmetros obtidos com a regressão linear, a partir de 30 árvores de estágio avançado.....	33

RESUMO

O trabalho tem como objetivo desenvolver uma metodologia de monitoramento e obtenção da altura de árvores através de imagens obtidas por VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado) ou também como é reconhecida pela ANAC ARP (Aeronave Remotamente Pilotada). Com o auxílio de softwares computacionais, como o Agisoft *Metashape*, *Fusion*, *LasTools*, ArcGis Pro e o R foi possível obter o Modelo Digital de Superfície (MDS), Modelo Digital de Terreno (MDT) e o MDAD (Modelo Digital de Altura de Dossel) como produto da diferença entre MDS e MDT. Para o desenvolvimento desta pesquisa foram utilizadas cinco áreas em diferentes estágios de regeneração natural (inicial, intermediário e avançado), sendo possível obter a altura das árvores conforme a sua densidade e altura. Por fim, as alturas obtidas via modelagem foram comparadas com métodos tradicionais de medição de altura, comparando os estágios de regeneração obteve-se um melhor resultado do Coeficiente de determinação (R^2) e o erro quadrático médio da raiz (RMSE) no estágio inicial da regeneração com R^2 de 0,99 e RMSE de 0,08m.

Palavras chaves: VANT, ARP, regeneração natural, MDT, MDS e MDAD.

ABSTRACT

The objective of this work is to develop a methodology for monitoring and obtaining the height of trees through images obtained by UAV (Unmanned Aerial Vehicle) or also as recognized by ANAC RPA (*Remotely Piloted Aircraft System*). With the help of computer software, such as Agisoft Metashape, Fusion, LasTools, ArcGis Pro and R, it was possible to obtain the Digital Surface Model (DSM), Digital Terrain Model (DTM) and DCHM (Digital Canopy Height Model) as a product of the difference between DSM and DTM. For the development of this research, five areas were used in different stages of natural regeneration (initial, intermediate and advanced), being possible to obtain the height of the trees according to their density and height. Finally, the heights obtained via modeling were compared with traditional methods of height measurement comparing the regeneration stages, a better result was obtained for the coefficient of determination (R^2) and the root mean square error (RMSE) in the initial stage of regeneration with R^2 of 0.99 and RMSE of 0.08m.

.

Keywords: UAV, RPA, natural regeneration, DTM, DSM and DCHM.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	6
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	7
2.1 FLORESTA ATLÂNTICA: DEGRADAÇÃO E REGENERAÇÃO NATURAL.....	7
2.2 REGENERAÇÃO NATURAL, NA FLORESTA ATLÂNTICA: ESTÁGIOS SUCCESIONAIS E MÉTODOS CONVENCIONAIS DE MENSURAÇÃO DE PARÂMETROS DENDROMÉTRICOS.....	9
2.3 USO DE GEOTECNOLOGIA NA MENSURAÇÃO DE FLORESTAS: PARÂMETROS DENDROMÉTRICOS E MODELAGEM, EM ÁREAS DE REGENERAÇÃO NATURAL. ...	10
2.4 MODELAGEM DIGITAL.....	13
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	14
3.1 CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO.....	14
3.2 COLETA E ANÁLISE DE DADOS.....	15
3.2.1 IMAGENS AÉREAS OBTIDAS POR VANT.....	18
3.3 PLANEAMENTO DO VÔO, PROCESSAMENTO DAS IMAGENS E MENSURAÇÃO DA ALTURA DAS ÁRVORES.....	19
3.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	23
4. RESULTADOS.....	26
4.1 ÁREA ESTÁGIO INICIAL.....	27
4.2 ÁREA ESTÁGIO INTERMEDIÁRIO.....	30
4.3 ÁREA ESTÁGIO AVANÇADO.....	31
5. DISCUSSÃO.....	33
6. CONCLUSÃO.....	35
REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	36

1. INTRODUÇÃO

As atividades de campo para coleta de dados são exaustivas e demoradas, dependendo das dimensões da área a ser mensurada, perímetro a ser percorrido e das condições climáticas em ambientes tropicais (COOPS et al., 2007). O uso de sensores remotos tem sido uma alternativa para coleta de informações em florestas, bem como monitoramento de áreas em processo de restauração. No entanto, a existência de nuvens e as interações da energia eletromagnética com a atmosfera servem de obstáculos para os sensores, prejudicando o imageamento do dossel florestal (ASNER et al., 2005).

Dentre alguns dados de sensores remotos de interesse na engenharia florestal é possível citar as fotografias aéreas obtidas por plataforma ARP (Aeronave Remotamente Pilotada; conhecida popularmente como drone) e os dados LiDAR (*Light Detection And Ranging*). O drone segundo a Associação Brasileira de Aeromodelismo (ABA) é uma aeronave que não possui piloto no seu interior, controlada remotamente, e vem acoplado por sensores (câmeras) embarcados que auxiliam no monitoramento de áreas (Embrapa, 2019).

Já os dados LiDAR possuem alta penetrabilidade e resolução espacial, sendo possível extrair informações das camadas inferiores às copas das árvores (COOPS et al., 2007; GÖRGENS et al., 2016). Basicamente a tecnologia LiDAR emite um pulso laser na faixa do infravermelho próximo em direção a um objeto e ao atingir sua superfície reflete o laser de volta, com isso o equipamento por meio de cálculos matemáticos consegue decifrar essa radiação. Obtêm-se assim a distância entre o sensor e o alvo de interesse (PAPA, D. de A. et al, 2017). Essa tecnologia tem sido bastante empregada na área florestal (WULDER et al., 2008; GIONGO et al., 2010; GÖRGENS et al., 2014)

Com os dados dessas tecnologias supracitadas é possível gerar modelos digitais, tais como o Modelo Digital de Superfície (MDS) e Modelo Digital de Terreno (MDT) (FERREIRA, 2016).

Nesta pesquisa foi avaliado a possibilidade de mensurar parâmetros dendrométricos a partir de imagens aéreas. O trabalho avaliou a efetividade de mensuração da altura de árvores em diferentes estágios de regeneração natural

utilizando modelagem digital a partir do processamento de imagens aéreas obtidos por uma RPA quadricóptero.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 FLORESTA ATLÂNTICA: DEGRADAÇÃO E REGENERAÇÃO NATURAL

Nos seus primórdios o bioma Mata Atlântica ocupava uma área de 1.110.182 km², essa área equivalia a 15% de todo território brasileiro, com as degradações ambientais restam apenas 12,5% desse valor (IBF, 2020). A Mata Atlântica se estende por dezessete estados dentre eles Espírito Santo, Rio de Janeiro e Santa Catarina, e parte do território do estado de Alagoas, Bahia, Goiás, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Paraíba, Paraná, Pernambuco, Rio Grande do Norte, Rio Grande do Sul, São Paulo e Sergipe. (IBF, 2020).

O bioma é dividido em sete formações definidas pelo CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) de 1992, sendo eles: Floresta Ombrófila Densa, Floresta Ombrófila Aberta, Floresta Ombrófila Mista, Floresta Estacional Decidual, Floresta Estacional Semidecidual, Mangues e Restingas (Figura 1).

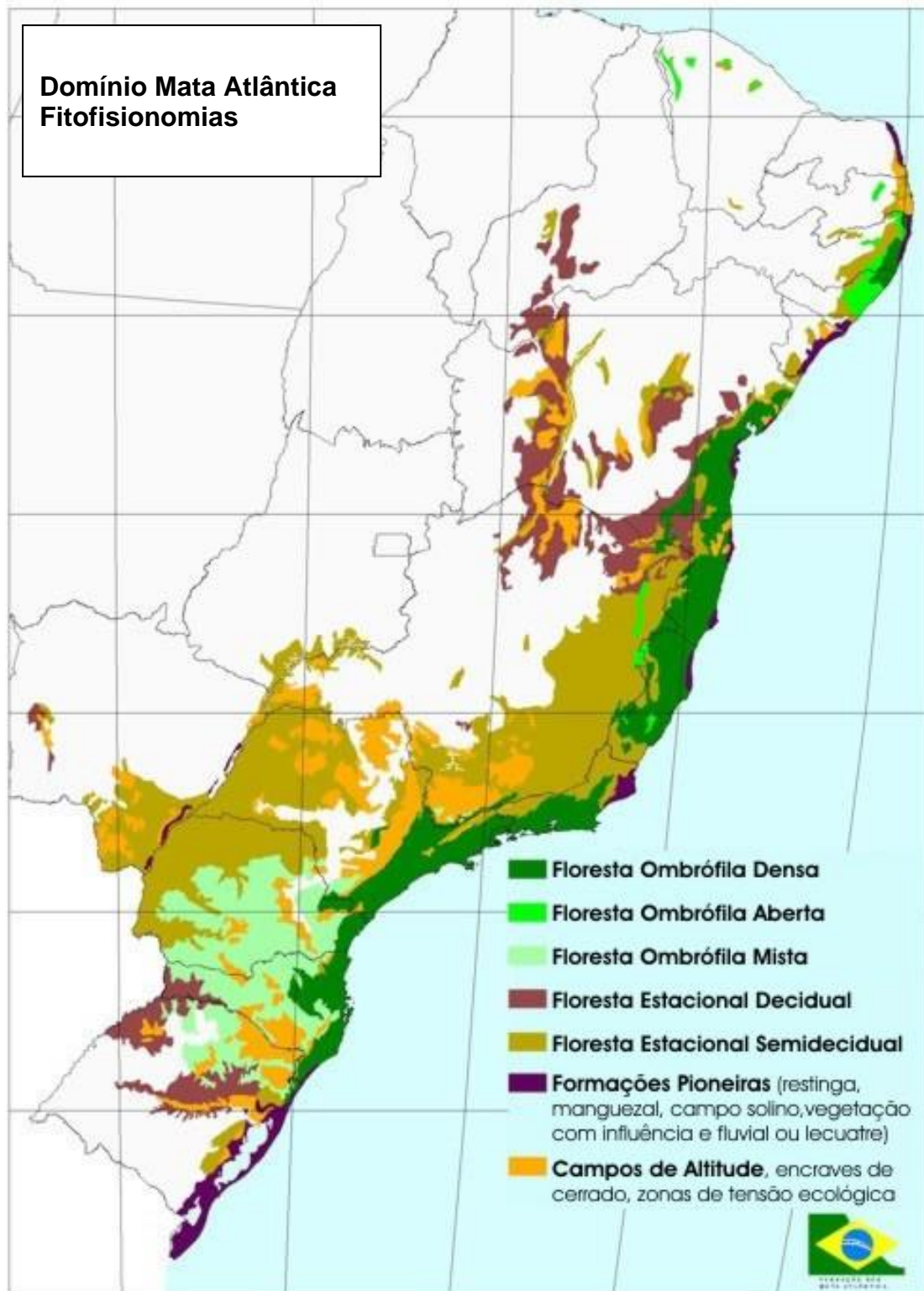


Figura 1: Fitofisionomias do domínio Mata Atlântica
 Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)

No estado de Minas Gerais se encontra três tipos de fitofisionomias Floresta Estacional Semidecidual, Floresta Estacional Decidual e Encaves de cerrado e estepe e zonas de tensão ecológica como podemos ver na figura 1, a área de estudo encontra-se na Semidecidual (SCOLFORO; CARVALHO, 2006).

2.2 REGENERAÇÃO NATURAL, NA FLORESTA ATLÂNTICA: ESTÁGIOS SUCESSIONAIS E MÉTODOS CONVENCIONAIS DE MENSURAÇÃO DE PARÂMETROS DENDROMÉTRICOS.

O estágio inicial é caracterizado por sendo, vegetação sucessora com fisionomia herbácea/arbustiva, apresentando altura média da formação de até 5 (cinco) m e Diâmetro à Altura do Peito (DAP), menor ou igual a 10 (dez) cm (CONAMA, 1994). Nesse tipo de vegetação há também uma ausência de estratificações, uma maior parte de espécies arbóreas jovens, espécies pioneiras abundantes, e algumas das espécies indicadoras seriam *Árbóreas Cecropia* spp. (embaúba), *Vismia* spp. (ruão), *Solanum granuloseprosum*, *Piptadenia gonoacantha*, *Mabea fistulifera*, *Trema micrantha*, *Lithrae molleoides*, *Schinus terebinthifolius*, *Guazuma ulmifolia*, *Xilopia sericea*, *Miconia* spp, etc. (CONAMA, 2007).

No estágio médio há uma vegetação que apresenta fisionomia de porte arbustivo/arbóreo cuja formação florestal apresenta altura de 5 (cinco) a 12 (dose) metros e DAP médio entre 10 (dez) e 20 (vinte) centímetros (CONAMA, 1994). Aqui se começa a ter uma formação de dois extratos, dossel e sub-bosque, e também já se inicia uma predominância de espécies arbóreas, presença marcante de cipós e maior riqueza e abundância de epífitas em relação ao estágio anterior (CONAMA, 2007).

Já no estágio avançado acontece à formação de mais um extrato em relação ao estágio anterior, que é o sub-dossel. O dossel seria superior a 12 metros de altura, com sub-bosques menos expressivos comparando com o estágio médio, espécies lenhosas com diâmetro altura do peito (DAP) superiores a dezoito centímetros. As suas espécies indicadoras seriam *Acacia polyphylla* (monjolo), *Aegiphila sellowiana* (papagaio), *Albizia niopoides* (farinha-seca), *A. polycephala* (farinheira), *Aloysia virgata* (lixreira), *Anadenanthera* spp. (angicos), *Annona cacans* (araticum-cagão), *Apuleia leiocarpa* (garapa), *Aspidosperma* spp. (perobas, guatambus), *Andira fraxinifolia*(morcegueira ou angelim), *Bastardiopsis densiflora*, *Cariniana* spp.(jequitibás), *Carpotroche brasiliensis* (sapucainha), *Cassia ferruginea* (canafístula), *Casearia* spp.(espeto), etc. (CONAMA, 2007).

A RAD é por definição uma ciência da restauração ecológica. A restauração ecológica, por sua vez, é um processo que auxilia o restabelecimento de um

ecossistema modificado, alterado de uma forma negativa, sendo ele danificado ou destruído. Esse ecossistema só pode ser dito recuperado ou restaurado quando possui recursos suficientes para sobreviver sozinho, sem ajuda ou sem a precisão de um novo manejo, restaurando assim sua resiliência (MMA, 2019).

A lei nº 9.985 de 18 de julho de 2000, define que a restauração é um processo no qual, um ecossistema degradado volte a ser o mais próximo possível da sua situação original. Já a recuperação, o ecossistema avaliado apenas chegue a um estado não degradado, podendo ser diferente das suas condições originais. (MMA, 2019).

Além da lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000, a recuperação de áreas degradadas se encontra respaldada na Constituição Federal de 1988, em seu art. 225, onde diz: *“Art. 225. Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.”*, ou seja, todos tem o direito do uso do ambiente ecológico de forma sensata e correta, sem prejudicar o próximo. (MMA, 2019).

Para uma RAD bem sucedida, é preciso um conhecimento dos seus estágios sucessionais da área e um projeto bem elaborado da área trabalhada. Os estágios sucessionais segundo o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) são divididos em três estágios dentro do bioma Mata Atlântica: estágio inicial, estágio médio e estágio avançado. (CONAMA, 2007).

2.3 USO DE GEOTECNOLOGIA NA MENSURAÇÃO DE FLORESTAS: PARÂMETROS DENDROMÉTRICOS E MODELAGEM, EM ÁREAS DE REGENERAÇÃO NATURAL.

Para avaliar esses estágios podem ser utilizados sensores remotos como método alternativo para monitoramento da RAD, além de softwares específicos para fotogrametria, compostos de algoritmos robustos para processamento de dados VANT e o LiDAR.

Existem várias siglas que têm sido usadas como sinônimos de VANT, como DRONE, ROA, RPA, UAS, UVS e VARP. Mas uma que teve um maior destaque e

maior utilização pela a sociedade tem sido RPAs, do inglês *Remotely Piloted Aircraft*. Desde a segunda década do século passado estes equipamentos vêm sendo registrados tanto quanto a aerofotogrametria (AGUIAR, 2013).

O VANT, similar ao Drone tem um papel importante no reconhecimento e recobrimento de áreas principalmente na agricultura, aonde vem crescendo sua aplicação pela facilidade, redução de custos e do tamanho dos equipamentos (JORGE, L. A. de C.; INAMASU, R. Y., 2014).

Segundo o ITARC (Instituto de Tecnologia Aeronáutica Remotamente Controlada, 2018) o Drone teve sua história iniciada na Segunda Guerra Mundial. O responsável pelo desenvolvimento do Drone foi o engenheiro espacial israelita Abraham (Abe) Karem, em 1977. Seu primeiro modelo tinha a necessidade de 30 pessoas para o seu controle, já com algumas melhorias essa quantidade de pessoas foi reduzida para apenas três. No Brasil o primeiro VANT registrado foi o BQM1BR fabricado pela Companhia Brasileira de Tratores (CBT), e seu primeiro voo realizado no ano de 1983. Houve também um segundo VANT registrado no Brasil que foi reconhecido como Galha Azul, produzido pela Embraer, onde tinha uma duração do seu voo de 3 (três) horas e 4 (quatro) metros de envergadura. (ITARC, 2018).

O VANT pode ser também associado a algumas ciências como a Fotogrametria, que é uma ciência que obtém informações confiáveis a partir de interpretações de fotos. Essa ciência já está disponível desde o século XIX e seus primeiros levantamentos aéreos foram realizados por balões. Diante desse marco histórico e com as tecnologias avançando, podemos concluir que a associação dessa tecnologia com a ciência é algo de muito bom grado, desde que se tenha uma preocupação com a informação para haver uma confiabilidade (RUY, 2015).

A Fotogrametria tem sido uma ciência cada vez mais utilizada para muitos fins, isso pode ser dito graças aos avanços tecnológicos que estão sempre em constante evolução como, por exemplo, os VANTs, câmeras digitais e microcomputadores (CÓRDOBA, 2012). Segundo Cavalcante (2015), já se pode encontrar também trabalhos utilizando laser scanner terrestre, onde surge outro tipo de geotecnologia, o LiDAR.

Schawlow e Townes em 1958 baseados em fundamentos feitos por Einstein em 1917, desenvolveram o laser. Já na década de 60 e 70 várias outras experiências demonstraram a eficácia do laser no sensoriamento remoto, com aplicações nos

monitoramentos atmosféricos e estudos oceânicos (Wehr & Lohr, 1999). Com os avanços eminentes o laser na década de 1980 passou a ser também utilizado nas medições de distâncias, acrescentando assim novos instrumentos como o *NASA's Atmospheric Oceanographic LiDAR (AOL)* e *Airborne Topographic Mapper (ATM)* (Flood, 2001). Com a tecnologia sendo cada vez mais reconhecida e necessitando de maiores precisões, ou a criação de novas tecnologias de sensores, a SLA (*Shuttle Laser Altimeter*) (Bufton et al., 1995) e a MOLA (*Mars Observer Laser Altimeter*) (Smith et al., 1993; Abshire et al., 2000), começaram a serem usadas para a medição de grandes áreas terrestre e dos oceanos.

O LiDAR é um sistema de sensoriamento remoto ativo de escaneamento a laser. Emite radiações eletromagnéticas a certo comprimento de onda onde é perceptivo a ele, a uma dada frequência de repetições para a percepção do objeto. O equipamento lança o laser no alvo, e o alvo reflete a radiação lançada, a partir disso o equipamento consegue detectar o retorno do sinal refletido, assim por meio de propriedades de luz refletida é possível o cálculo das distancias entre o objeto e o sensor (PAPA et al, 2017).

Segundo Papa et al. (2017), as principais formas de uso do sistema LiDAR em áreas florestais são os métodos *Terrestrial Laser Scanning (TLS)* e *Aerial Laser Scanning (ALS)*. O primeiro tem sua utilização no solo e o segundo é acoplado em uma aeronave. O laser transportado por aeronaves possui como principal característica a abrangência de áreas, uma grande capacidade de proximidade dos valores reais, capacidades de penetrar nas vegetações, uma sensibilidade nas variações do terreno e uma riqueza de detalhes em um pequeno espaço de tempo.

Segundo o Ministério da Infraestrutura, antes de poder fazer voos utilizando um drone são necessários tomar alguns cuidados segundo o Regulamento Brasileiro de Aviação Civil Especial N° 94/2017. Os drones São Classificados em 3 classes, classe 1 peso máximo de decolagem maior que 150kg, classe 2 peso máximo de decolagem entre 25kg e 150kg e classe 3 que se divide em duas subclasses a primeira com o peso máximo de 250g e a segunda de 250g à 25kg. Essa segunda subclasse é onde se encaixa o Phantom 4 *advanced*, que foi o drone utilizado no projeto. Esse tipo de aeronave precisa ser cadastrado junto a ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil). O piloto precisa ter no mínimo 18 anos de idade, só se pode operar uma aeronave por vez e não é permitido operar drones sob efeito de substâncias psicoativas e todos os

operadores estão sujeitos às regras quanto ao uso de álcool e de drogas constantes do item 91.17 do RBAC - Regulamentos Brasileiros da Aviação Civil (RBAC 91). (Ministério da Infraestrutura, 2017)

2.4 MODELAGEM DIGITAL

Com os produtos gerados por esses equipamentos é possível gerar o MDT (Modelo Digital do Terreno) e o MDS (Modelo Digital de Superfície). O primeiro é a cota relativa ao terreno e o segundo é a cota sofre influência de objetos sobre o terreno. Com essa percepção é possível gerar uma MDT a partir de um MDS, um processo no qual ocorre uma filtragem dos objetos acima do terreno utilizando algum tipo de método sendo ele automático ou por algum tipo de algoritmo. Com isso consegue fazer a remoção desses objetos gerando assim um MDT. (FERREIRA, 2016).

Segundo Rocha (2000), um MDT pode ser definido com informações básicas de coordenadas x, y e z, que por sua vez é uma representação matemática de superfície (apud MEDINA, Alex & MEDINA, SIMONE, 2007). De acordo com Matos (2005) existem muitas aplicações para o MDT, dentre elas armazenamentos de dados de altimetria, análise de corte/aterro, construção de estradas, elaboração de mapas de declividade, dentre outros.

O MDS já é um modelo mais prático, são registros fotográficos com uma boa resolução e com suas respectivas coordenadas. Pode ser usado com várias finalidades como estudos aéreos, mapeamento, planejamento urbano, projetos de engenharia, etc. (SIGMATS, 2018).

O MDAD é um outro modelo derivado dos modelos acima. Consiste na estimativa da altura da cobertura florestal a partir da subtração do MDS em relação ao MDT (DUBAYAH et al., 2000). Quando tratamos do LiDAR, separamos essas informações em dois pulsos laser, o primeiro retorno de pulso laser na sua maioria das vezes correspondem aos pontos mais altos, ou seja, as copas das árvores, o que gera um MDS, já o segundo retorno refere-se as partes mais baixas do terreno, o que nos gera o MDT. Com a subtração desses dois modelos temos o MDA ou MDAD (Modelo Digital de Altura de Dossel) que se torna uma alternativa de análise de cobertura da vegetação (CASTRO; CENTENO, 2005).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO

As áreas de estudo estão compreendidas na Unidade de Conservação (UC) e APA (Área de Proteção Ambiental) Bom Jardim, no município de São João Evangelista - MG (Figura 2). Foram selecionadas áreas em diferentes estágios sucessionais de regeneração natural (inicial, intermediário e avançado) situadas no Instituto Federal de Minas Gerais, *Campus* São João Evangelista (IFMG-SJE).

O *Campus* possui uma extensão territorial de aproximadamente 300 hectares está localizado na região centro Norte do Estado, na Bacia Hidrográfica do Rio Suaçuí, Vale do Rio Doce.

De acordo com a Classificação de Köppen, o clima da região compreende o Aw “Clima Tropical” com seca no inverno (PEEL; FINLAYSON; MCMAHON, 2007). Sua tipologia florestal é classificada como Floresta Estacional Semidecidual (FESD) (SCOLFORO; CARVALHO, 2006).

A Região de São João Evangelista, de acordo com os Mapas de tipos de Solos, do estado de Minas Gerais possui duas classificações, sendo elas: Latossolos Vermelho - Amarelos (LVA) e Latossolos Vermelho (UFLA; UFV, 2010, com maior especificidade o *Campus* se encontra no LVA (MELO, 2018).

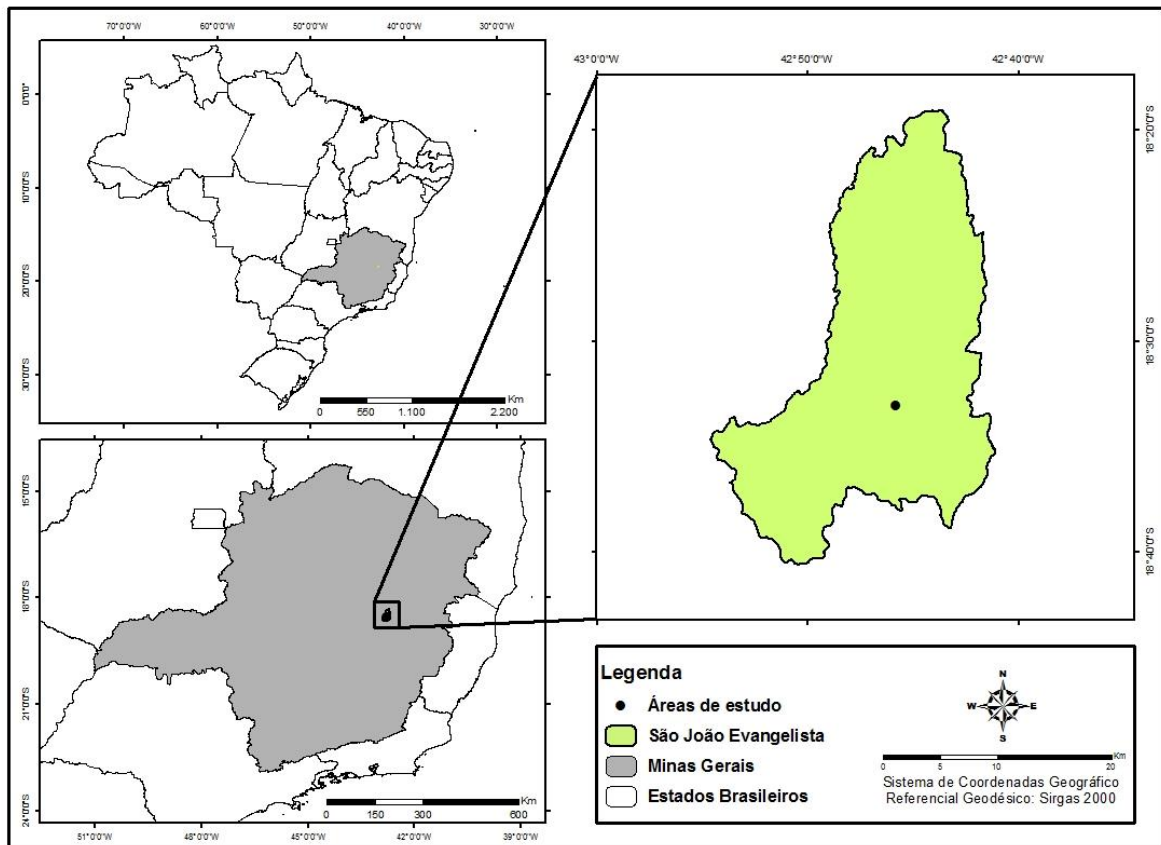


Figura 2 – Localização do município de São João Evangelista.
Fonte: O autor

3.2 COLETA E ANÁLISE DE DADOS

A obtenção das imagens com o VANT foi realizada em alguns remanescentes de vegetação nativa e pertencem à Floresta Estacional Semidecidual. As áreas foram escolhidas de acordo com os estágios de regeneração natural, variando desde áreas com uma densidade arbórea reduzida (estágio inicial), no caso das pastagens até áreas com vegetação mais densa (estágio avançado). Com esse intuito foram selecionadas cinco áreas, as áreas 4 e 5, uma de menor densidade florística com formações de gramíneas e dossel descontínuo com arvoredos de pequeno porte, ou seja, uma sucessão inicial de regeneração; a área 1, com uma formação intermediária com árvores em um estágio mais avançado de sucessão contendo árvores de até 10 metros; e as áreas 2 e 3 com um dossel mais contínuo, com uma maior densidade. A figura 4 ilustra as cinco áreas de estudos para desenvolvimento deste trabalho. A imagem 1 mostra a vista panorâmica para das diferentes áreas a serem avaliadas.

Áreas de Estudo

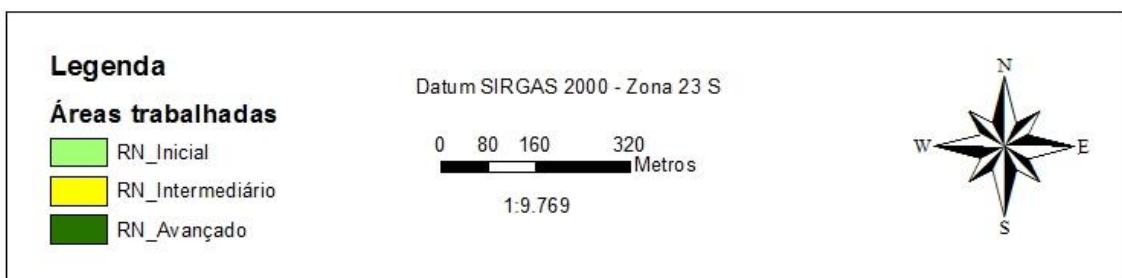
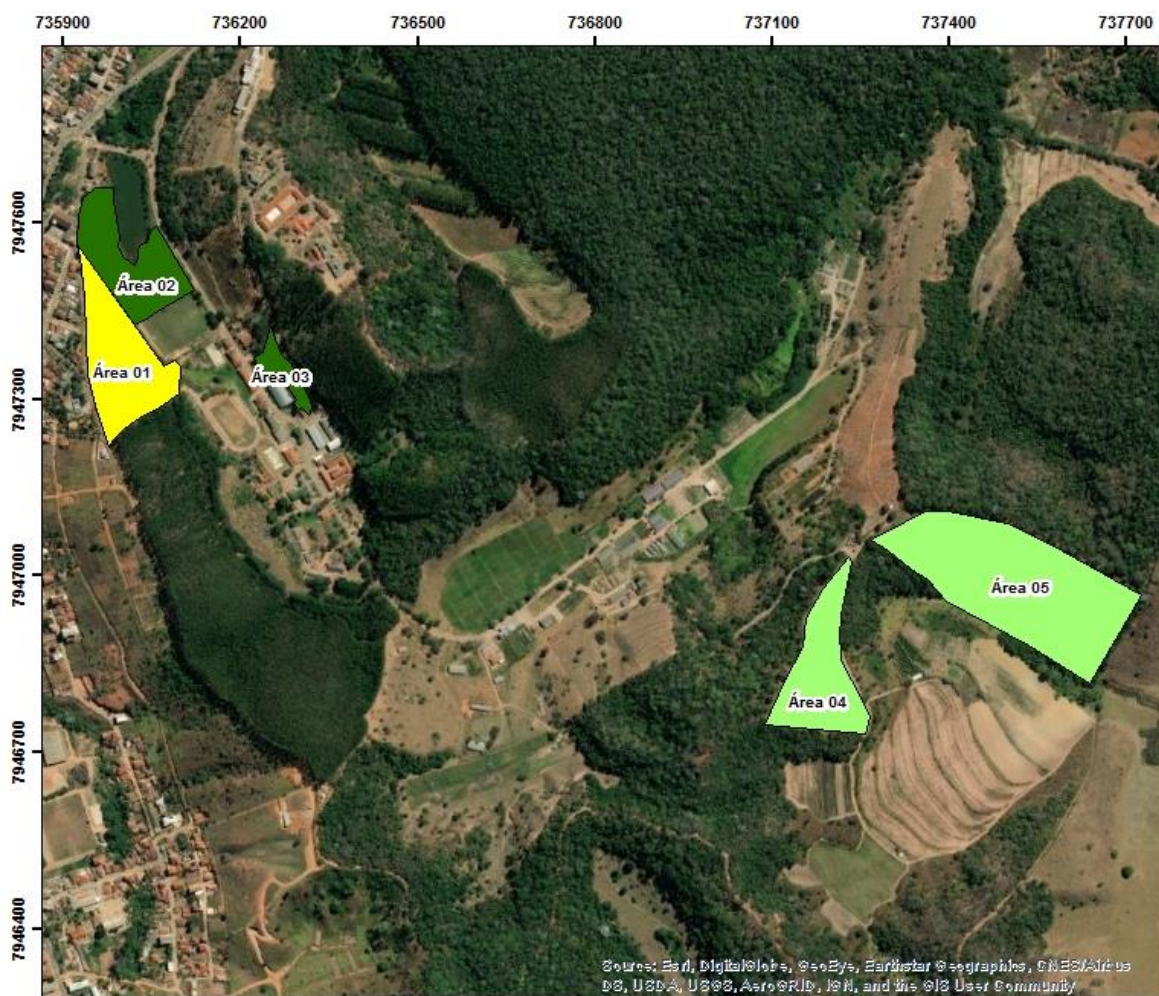


Figura 3 - Localização geral das áreas e estudos (RN tem como significado Regeneração Natural).
Fonte: O autor.






	
<p>Área 01 – Estágio Médio de Regeneração natural.</p>	<p>Área 02 – Estágio Avançado de Regeneração natural.</p>
	
<p>Área 03 – Estágio Avançado de Regeneração natural.</p>	<p>Área 04 – Estágio inicial de Regeneração natural.</p>
	
<p>Área 05 – Estágio inicial de Regeneração natural.</p>	

Imagem 1: Vista panorâmica das áreas trabalhadas
 Fonte: O autor

3.2.1 IMAGENS AÉREAS OBTIDAS POR VANT

O drone quadricóptero utilizado na captura das imagens foi o DJI *Phantom 4 Advanced*, desenvolvido em 2017 pela empresa chinesa DJI (Figura 4). O drone está embarcado com câmera de 20 MP e resolução 4K para vídeos, com autonomia de voo 30 de minutos o que permite alcance máximo de 7 km de distância horizontal (DJI, 2022).



Figura 4 - VANT *Phantom 4 Advanced*.
Fonte: DJI, 2022.

Algumas especificações do VANT estão descritas no quadro 1 abaixo.

Quadro 1 - Especificações VANT Phantom 4 Advanced

Especificações da aeronave	
Peso (Bateria e hélices inclusos)	1368g
Tamanho diagonal (incluso hélice)	350mm
Velocidade máxima de subida	Modo S: 6 m/s Modo P: 5 m/s
Velocidade máxima de descida	Modo S: 4 m/s Modo P: 3 m/s
Velocidade Máxima	72 km/h (Modo-S) 58 km/h (Modo-A) 50 km/h (Modo-P)
Ângulo máximo de inclinação	42° (Modo S) 35° (Modo A) 25° (Modo P)
Resistência máxima a velocidade do vento	10 m/s
Teto máximo de serviço acima do nível do Mar	19.685 pés (6000m)

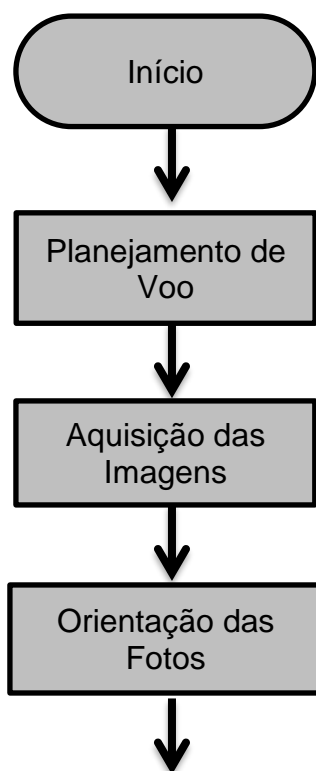
Faixa de temperatura operacional	32° a 104°F (0° a 40°C)
Sistema de posicionamento global	GPS/GLONASS

Fonte: DJI, 2022.

Para garantir uma confiabilidade das imagens tomadas e não danificar o equipamento é recomendável fazer configurações antes de cada voo, dentre elas: calibração da IMU (*Inertial Measurement Unit* ou Unidade de Medição Inercial), da bússola interna (*compass*) e do gimbal que suporta a câmera. A IMU faz cálculos de movimentos e equilíbrio da aeronave e também é responsável sobre a medição da aceleração específica da aeronave, a velocidade angular, a atitude específica do objeto e o campo magnético que cerca o corpo do objeto (360SHOT, 2018). A bússola interna do drone determina a orientação do voo. Já o gimbal além de sustentar a câmera, estabiliza o sensor frente às perturbações que plataforma VANT está sujeita durante o voo.

3.3 PLANEAMENTO DO VÔO, PROCESSAMENTO DAS IMAGENS E MENSURAÇÃO DA ALTURA DAS ÁRVORES

O fluxograma abaixo (Figura 5) ilustra todos os procedimentos deste trabalho até a geração da nuvem de pontos, e cada etapa dele será discutida abaixo



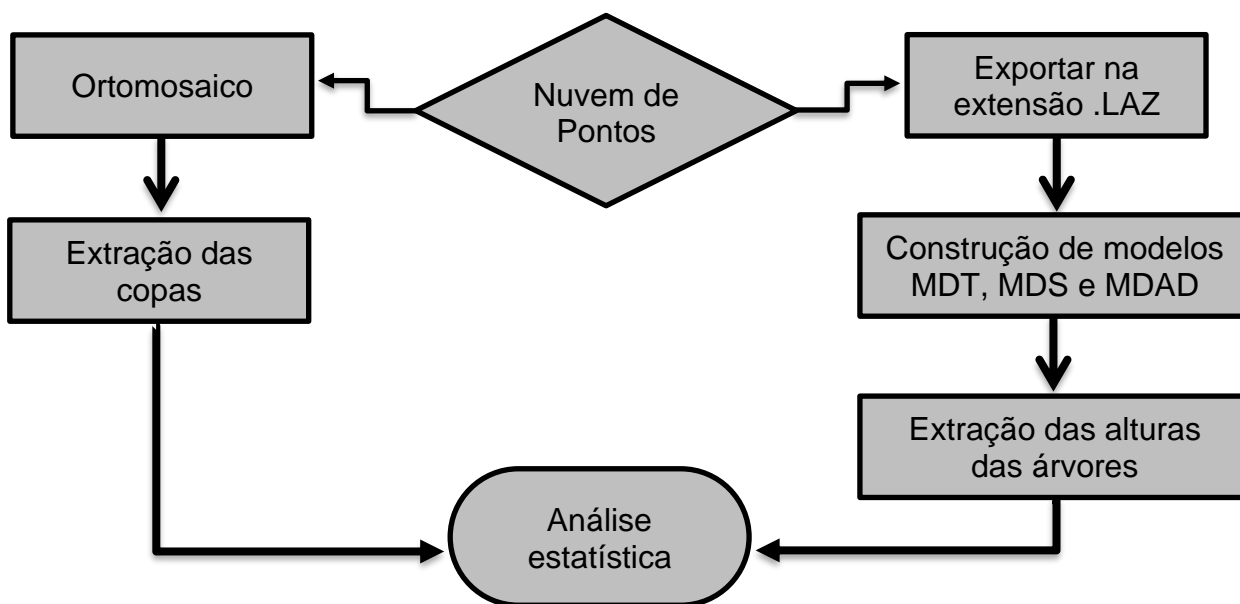


Figura 5: Fluxograma sobre as etapas de processamento no software Agisoft Metashape
 Fonte: O autor

Para a elaboração do plano de voo, foi utilizado o aplicativo *DroneDeploy* disponível nas plataformas android e IOS. Neste aplicativo, o planejamento do voo pode ser realizado tanto em um computador como em um Smartphone.

A etapa de elaboração do plano de voo é feita selecionando os parâmetros mostrados na figura 6. O primeiro parâmetro a ser configurado é a altura de voo, e, para este trabalho, foi utilizada a altura de 120 m, pois, é o limite estabelecido pela legislação para voos do tipo VLOS na classe 3, ou seja, aeronave abaixo de 25 kg (ANAC, 2017). Nesse tipo de voo, a licença pode ser feita com até 2 dias de antecedência (não precisa, apenas alturas superiores a 120 m). A altura de voo é um parâmetro que está diretamente relacionado com o tamanho do pixel, pois quanto maior a altura, maior é o tamanho do mesmo. Posteriormente, é selecionado o azimute das linhas de voo, que foi configurado em função da direção do vento. Os parâmetros utilizados para superposição frontal e lateral foram 75% e 75%, respectivamente, como pode-se observar na Figura 6 A e B.

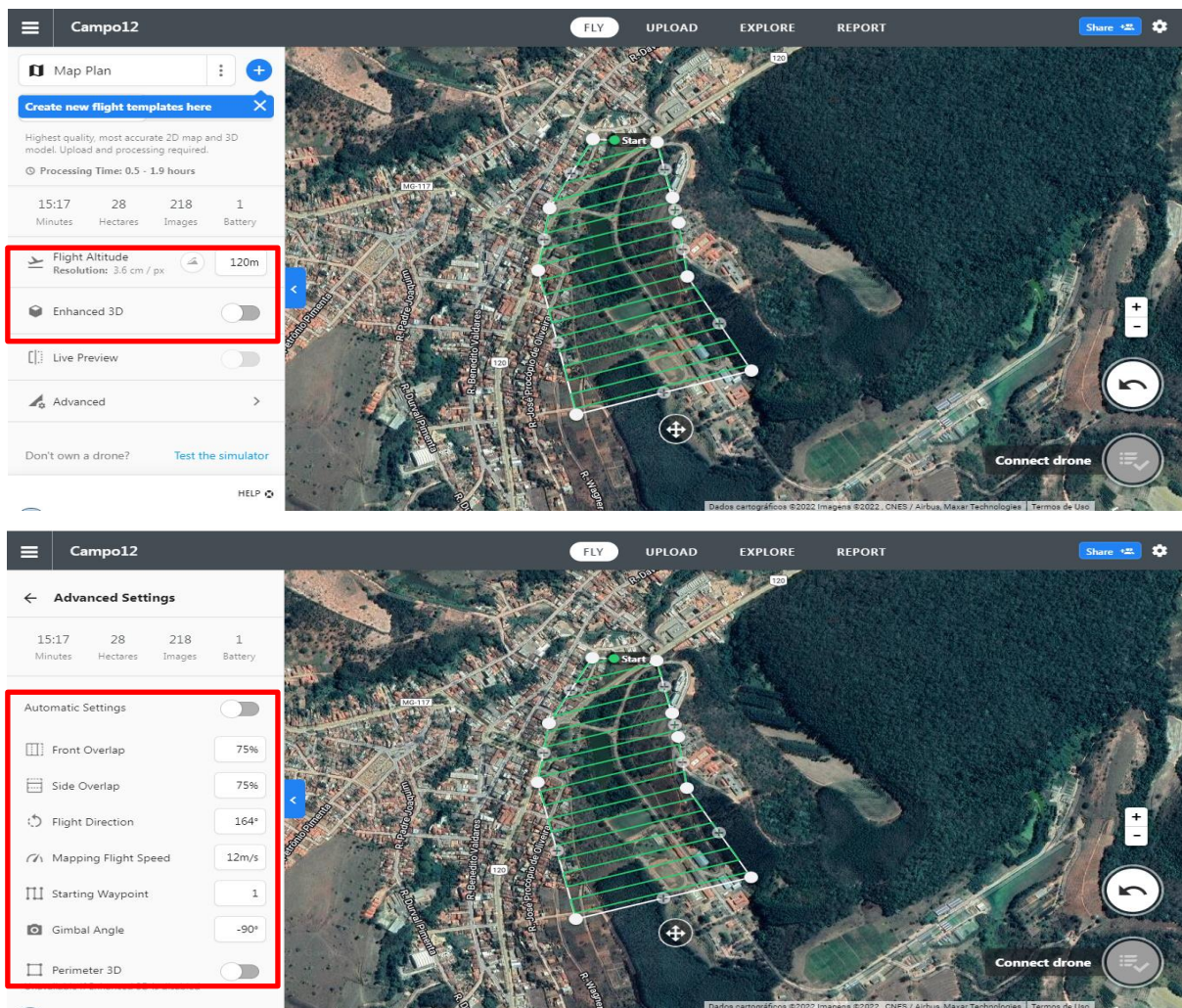


Figura 6 - Interface do aplicativo DroneDeploy e parâmetros de voo configurados.

Para o processamento das imagens aéreas foi utilizado o software *Agisoft Metashape* versão 1.4.5 (licença educacional). Inicialmente as imagens aéreas armazenadas em um cartão de memória são colocadas em um diretório no computador e inseridas dentro do software *Agisoft Metashape*.

A etapa seguinte consiste em alinhar as fotos sobrepostas, o algoritmo interno do software faz varredura em todas as imagens buscando os pontos homólogos e em seguida realiza a aerotriangulação, como resultado é possível visualizar uma nuvem tridimensional da área sobrevoada. Após a obtenção da nuvem de pontos, a mesma foi exportada na extensão LAZ, posteriormente processada pelos softwares Fusion e LAStools.

Com a nuvem de pontos também é possível criar modelos digitais (MDS e MDT) e ortomosaico da área de estudos.

Na etapa de processamento da nuvem de pontos para criação dos modelos, digitais de terreno, superfície, altura do dossel, de densidade relativa, de árvores dominantes e codominantes e obtenção do perfil vertical do dossel foram utilizados o software Fusion (Disponível em: <http://forsys.cfr.washington.edu/fusion/fusionlatest.html>), juntamente com o LAStools (Disponível em: <https://rapidlasso.com/lastools/>), disponíveis gratuitamente para download (Figura 7).

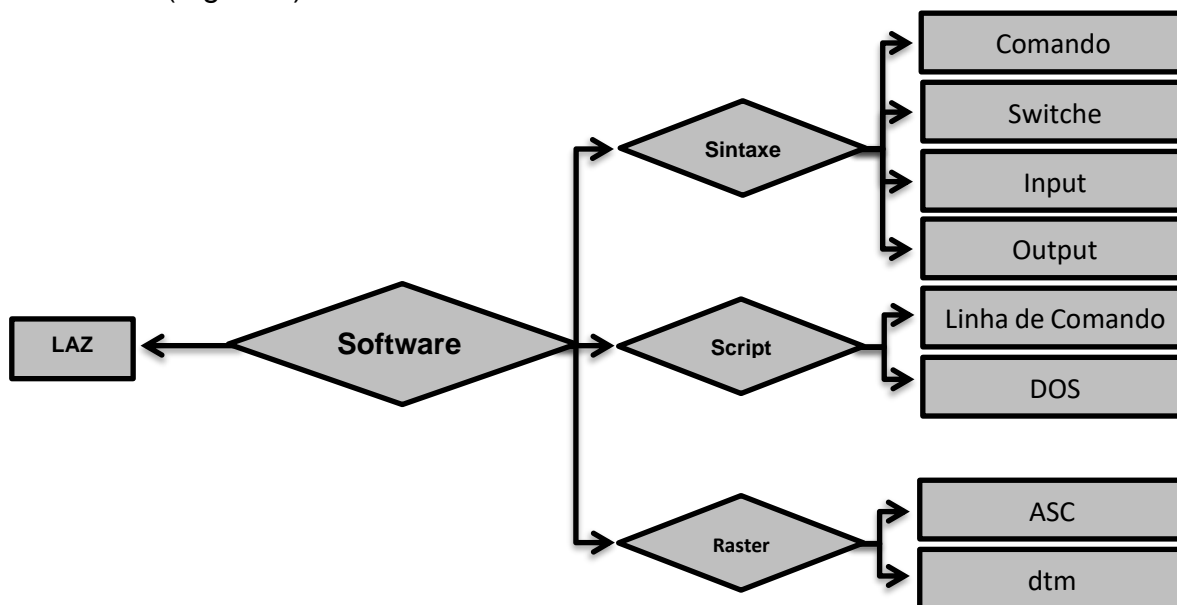


Figura 7: Fluxograma sobre as etapas de processamento no software Fusion.
Fonte: O autor.

A etapa de sintaxe consiste na elaboração de comandos (*scripts*) que permitem acessar as ferramentas do software Fusion por meio do Windows DOS. A princípio foi gerado o MDT a partir da nuvem de pontos LiDAR, sendo possível filtrar os pontos em nível de terreno utilizando o comando *GroundFilter*. Em seguida, de posse dos pontos extraídos na superfície do terreno é possível gerar o MDT usando o comando *GridSurfaceCreate*.

Os scripts dos modelos MDS e MDAD foram gerados também utilizando comando do manual do software Fusion, em ambas situações foram utilizados o comando *CanopyModel* (Figura 8).

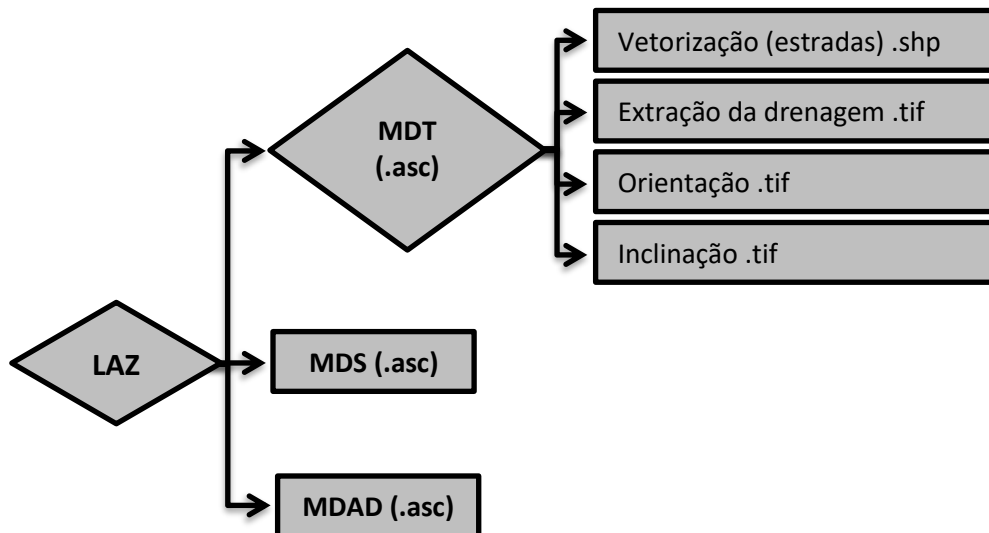


Figura 8: Fluxograma sobre a geração dos modelos.
Fonte: O autor.

Para mensuração das alturas das árvores com os produtos do voo aéreo, foi calculada a diferença entre os modelos MDS e MDT, criando assim o modelo MDAD, de maneira que os valores negativos foram padronizados com valor zero e mantendo os valores positivos da subtração.

Com o intuito de comparar as alturas do modelo MDAD, foi realizada medição de árvores em seus estágios iniciais, intermediários e avançados de regeneração natural utilizando para isso um hipsômetro digital modelo *Haglof*.

3.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A partir dos dados coletados foram selecionadas as árvores que puderam ser identificadas a campo e nas imagens aéreas obtidas através de RPA. Após essa seleção foram medidas as alturas com hipsômetro e áreas da copa através de análise gráfica. Em seguida, foram consideradas apenas as árvores nas quais a diferença de altura entre os dados de campo e o MDAD fosse inferior a 2 metros.

Posteriormente, foi realizado o ajuste do modelo linear e avaliado a correlação e a acurácia com os valores do coeficiente de determinação (R^2) e a raiz do erro quadrático médio (*root mean squared error* - RMSE), respectivamente.

Deste modo, essa pesquisa possibilitou testar uma nova técnica e compará-la com os métodos tradicionais de medição de altura. Além disso, as medições tradicionais podem ser diretas ou indiretas. Na forma direta a medida é feita sobre a árvore com auxílio de algum mensurador, por exemplo uma fita métrica. Este método geralmente é mais difícil, pois é limitado ao tamanho do mensurador e pelo tamanho da árvore. As formas indiretas são feitas a partir de instrumentos específicos ou métodos ópticos. Os instrumentos baseados nos princípios trigonométricos possuem uma maior utilização nas atividades florestais, por serem fáceis de manusear e precisos. Entre os principais está: Nível de Abney, Blume-Leiss, Clinômetro eletrônico e o Vertex.

Inicialmente foi realizado o processamento das imagens de duas áreas distintas, as quais continham as áreas fragmentadas em diferentes estágios de regeneração natural. Foram introduzidas 156 imagens aéreas de fragmentos em estágios iniciais e 132 imagens contendo estágios intermediário e avançados dentro do software Agisoft Metashape. Após realizar o alinhamento das fotos com configuração *ultra high* (Figuras 9 e 10), a etapa seguinte consistiu em densificar a nuvem de pontos utilizando os parâmetros de qualidade com configuração *ultra high* e filtragem agressiva com o objetivo de melhor caracterizar os estrados vegetais, como mostra as Figuras 11 e 12, respectivamente.

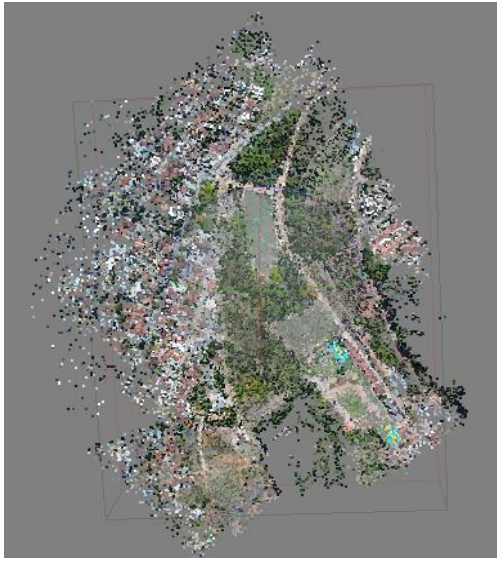


Figura 9: Alinhamento das fotos área 1, 2 e 3 obtidas

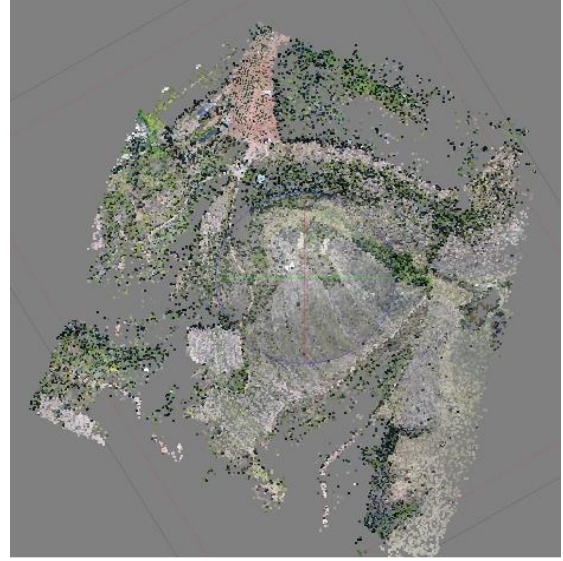


Figura 10: Alinhamento das fotos área 4 e 5



Figura 11: Nuvem densa de pontos da área 1, 2 e 3

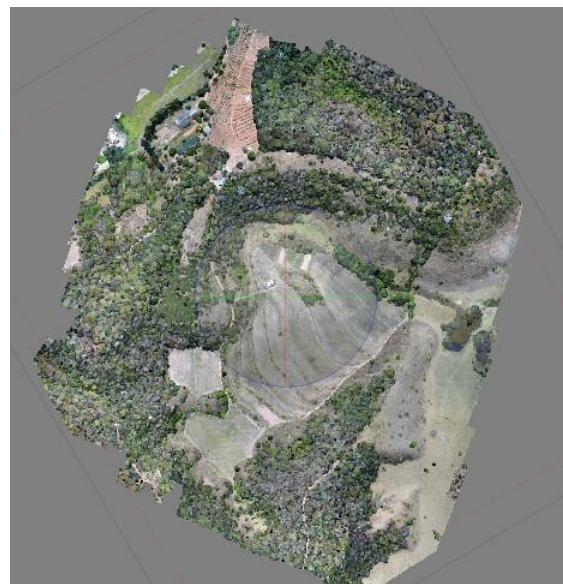


Figura 12: Nuvem densa de pontos da área 4 e 5

Posteriormente, a nuvem de pontos densificada de ambas as áreas foram exportadas no formato LAZ, formato este igual aos dados LiDAR aerotransportados. Utilizando uma sintaxe com linhas de comando e ferramentas dos softwares *Fusion* e *LAS Tools* em ambiente DOS, foi possível gerar os modelos MDT, MDS e MDAD na extensão ASCII, compatível com softwares SIG (Sistema de Informação Geográfica).

4. RESULTADOS

A primeira classificação dos dados foi feita de acordo com a possibilidade de identificação das árvores em campo e a partir da ortoimagem gerada. Das 80 árvores mensuradas incluindo todos os fragmentos, 66 puderam ser identificadas nas imagens. Para estas foram medidas as áreas de copas e classificadas em pequenas ($0 - 100 \text{ m}^2$), médias ($100 < \text{m}^2 \leq 200$) e grandes ($> 300 \text{ m}^2$) (Figura 13), de acordo com a distribuição de frequência das áreas de copa.

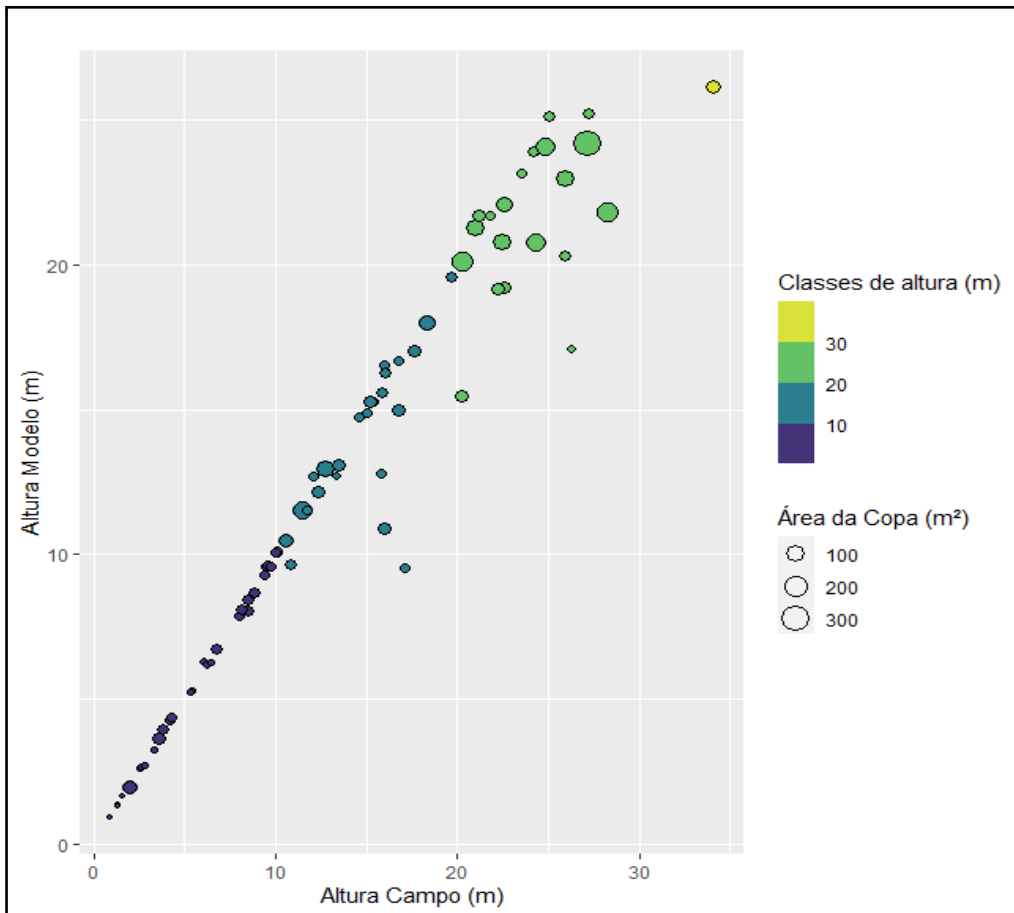


Figura 13: Dispersão das alturas medidas, em relação as classes de altura e tamanho de copas.

Foi observado em campo dificuldades para identificação das árvores de acordo com a densidade foliares das copas, uma vez que as árvores com menores densidades foliar apresentaram maiores erros em relação as medidas de altura coletadas à campo (Figura 14).

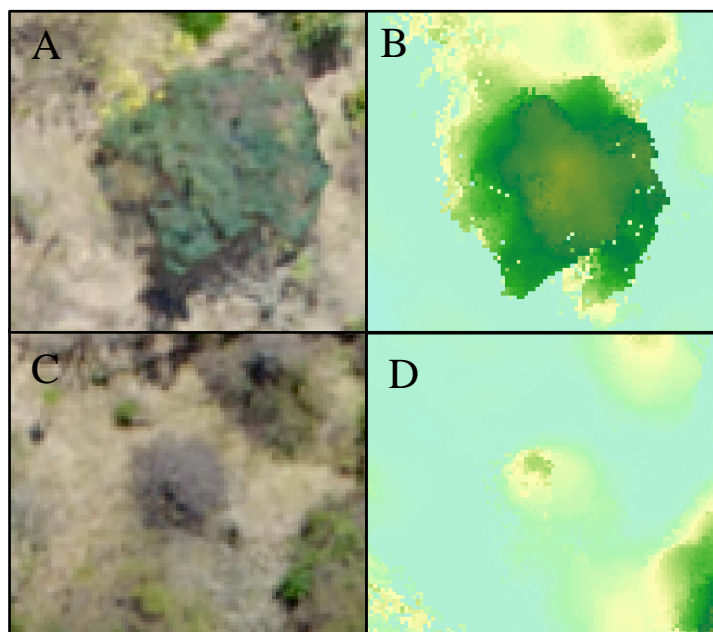


Figura 14 - Comparação entre a densidade visual das copas. (A e B – Copa com boa densidade foliar vista no ortomosaico e o MDAD; C e D – Copa com baixa densidade foliar vista no ortomosaico e o MDAD).

Para todos as áreas citados foram calculados o Coeficiente de determinação (R^2) e o erro quadrático médio da raiz (RMSE), onde o R^2 varia de 0 a 1, quanto mais perto de 1 significa uma ótima qualidade do modelo, já o RMSE mede a diferença entre o valor previsto e o valor observado, assim quanto mais próximo de zero esse valor menor o erro e uma melhor qualidade do modelo (HALLAK; PEREIRA FILHO, 2022).

4.1 ÁREA ESTÁGIO INICIAL

Para a primeira área, referente ao estágio inicial de regeneração, foram escolhidos dois fragmentos. As Figuras 15 e 16 mostram o modelo representativo MDAD com as respectivas alturas das árvores.

Para o fragmento 1 da área inicial, as alturas das árvores medidas a campo tiveram variação de altura entre 1,36 m e 6,18 m. As variações máximas do fragmento obtida através da modelagem foi entre 0 m e 16,849 m (figura 15).

Já o fragmento 2 da área inicial apresentou variação das alturas medidas à campo entre 0,90 m e 4,21m. O MDAD está representado na Figura 16. As

mensurações feitas de acordo com a variação máxima do fragmento tiveram valores entre 0 m e 14,5495 m.

A partir da observação de 20 árvores selecionadas aleatoriamente nos fragmentos de estágio inicial da regeneração natural foi realizado o ajuste de um modelo linear (Figura 17), onde obteve-se um R^2 de 0,99 e um RMSE de 0,08 m.

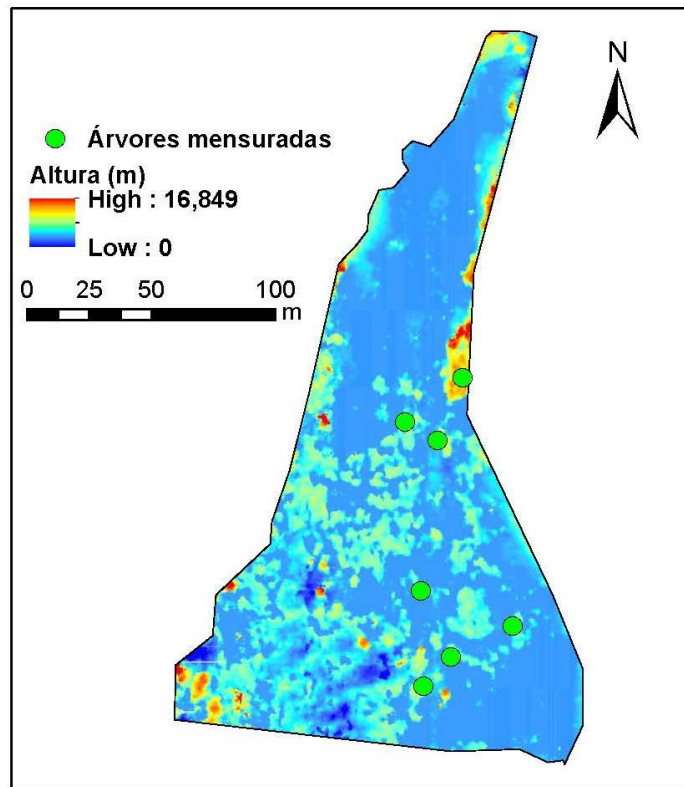


Figura 15: MDAD do fragmento 1 da área estágio inicial.

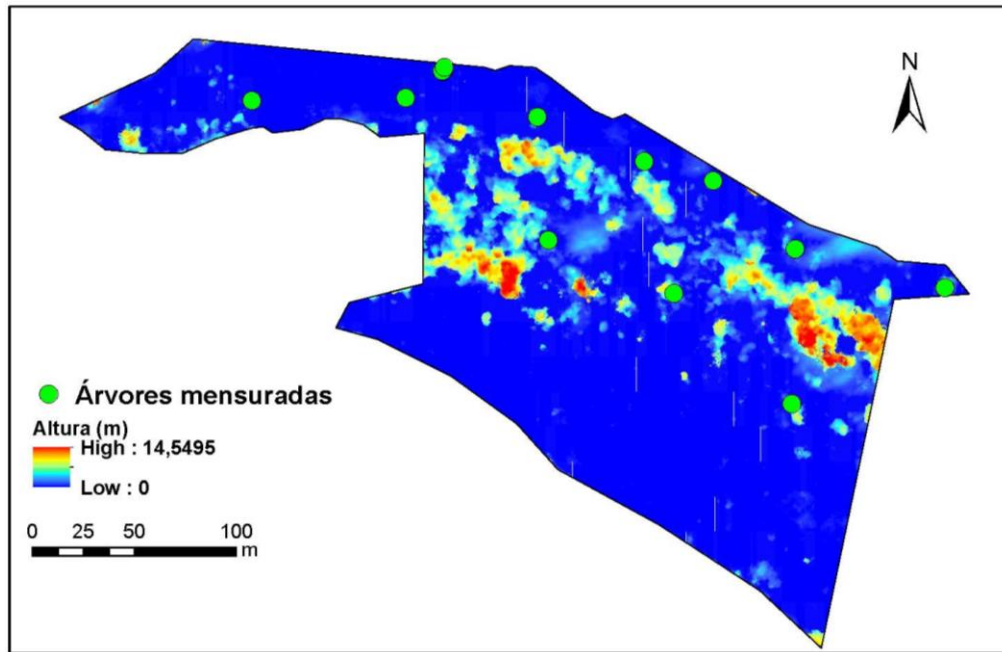


Figura 16: MDAD do fragmento 2 da área estágio inicial.

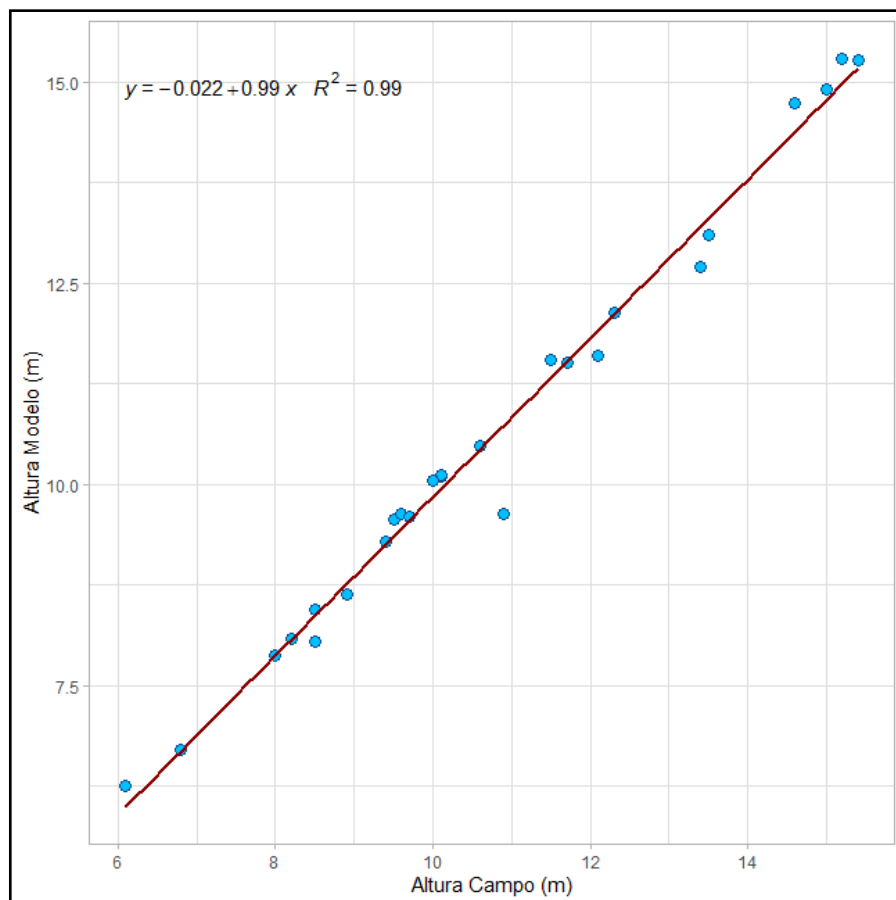


Figura 17 - Modelo ajustado e parâmetros obtidos com a regressão linear, a partir de 20 árvores de estágio inicial.

4.2 ÁREA ESTÁGIO INTERMEDIÁRIO

Para a segunda área referente ao estágio intermediário de regeneração foi escolhido a área 1. A Figura 18 mostra o modelo representativo MDAD com as respectivas alturas das árvores.

As alturas das árvores medidas à campo para este fragmento tiveram variação de altura entre 6,1 m e 24,3 m. As variações máximas do fragmento obtida através da modelagem tiveram valores entre 0 m e 20,9481 m.

Com a mensuração de 30 árvores selecionadas aleatoriamente no fragmento de estágio intermediário da regeneração natural foi realizado o ajuste de um modelo linear (Figura 19), onde obteve-se um R^2 de 0,94 e um RMSE de 0,63 m.

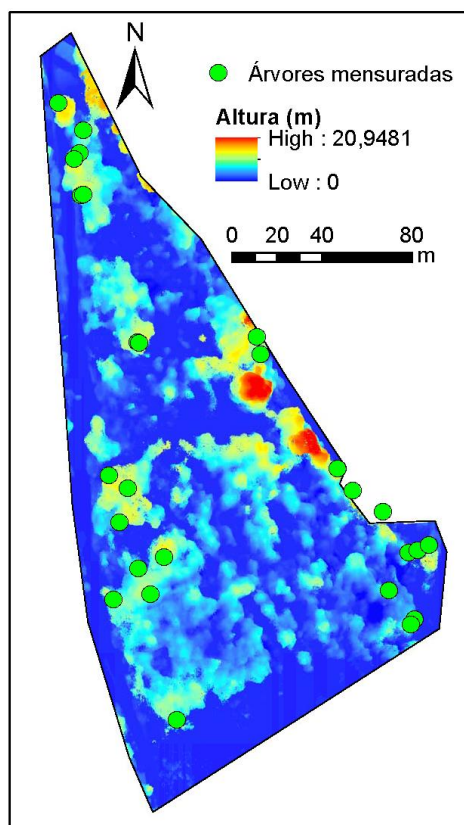


Figura 18 - MDAD da área estágio intermediário.

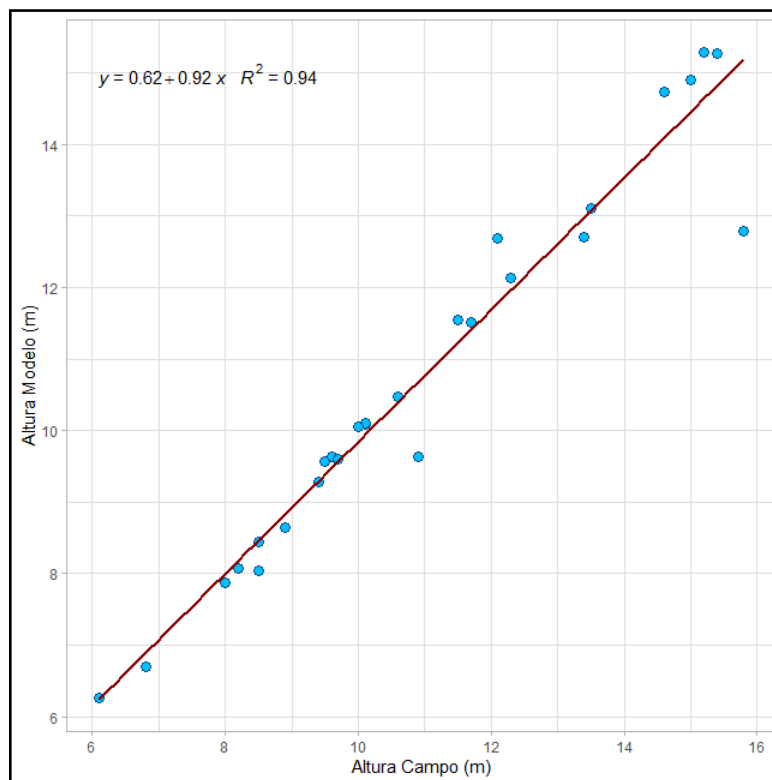


Figura 19 - Modelo ajustado e parâmetros obtidos com a regressão linear, a partir de 30 árvores de estágio intermediário.

4.3 ÁREA ESTÁGIO AVANÇADO

A terceira área é composta por 2 fragmentos que representa o estágio avançado da regeneração natural. As Figuras 20 e 21 mostram o modelo MDAD com as respectivas alturas das árvores.

Para o fragmento 1 da Área 3, as alturas das árvores medidas à campo tiveram variação de altura entre 12,8 m e 27,3 m. As variações máximas do fragmento obtida através da modelagem tiveram valores entre 0 m e 25,2292 m.

Para o fragmento 2 da Área 3 a variação das alturas medidas à campo esteve entre 16,8 m e 28,3 m. O MDAD está representado na Figura 21, nele as variações máximas do fragmento obtida através da modelagem tiveram valores entre 0 m e 25,242 m.

A partir da observação de 30 árvores selecionadas de forma aleatória nos fragmentos de estágio avançado da regeneração natural foi realizado o ajuste de um modelo linear (Figura 22), onde obteve-se um R^2 de 0,81 e um RMSE de 1,70 m.

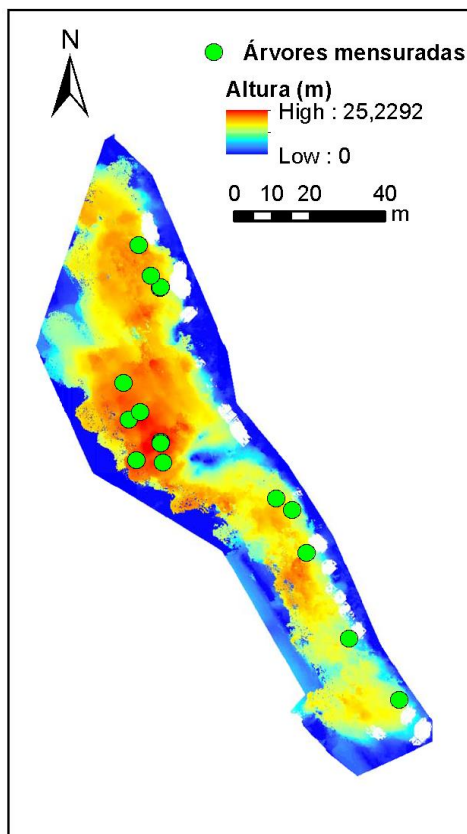


Figura 20 - MDAD do fragmento 1 da área 3.

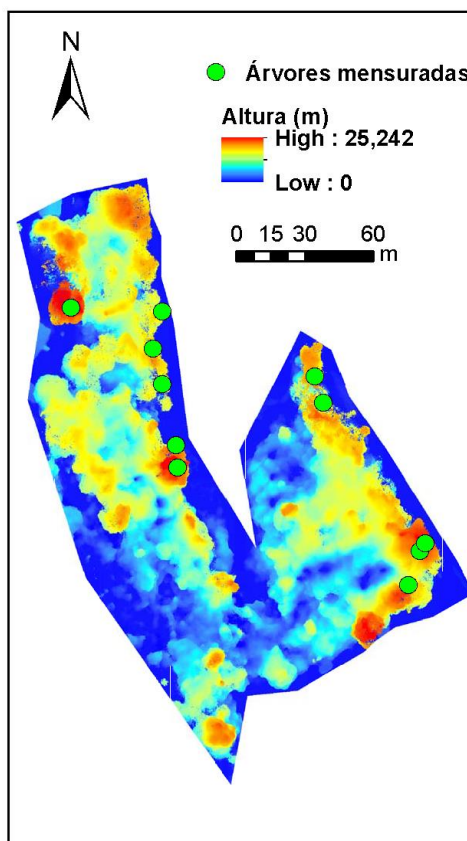


Figura 21 - MDAD do fragmento 2 da área 3.

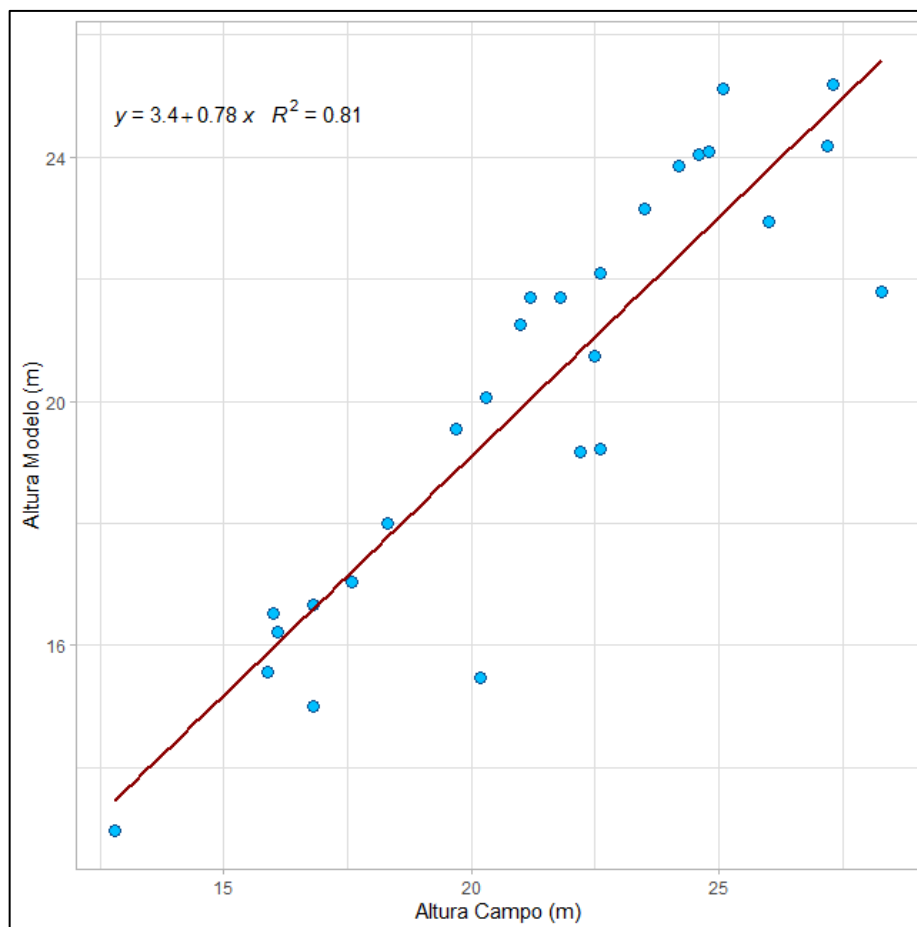


Figura 22 - Modelo ajustado e parâmetros obtidos com a regressão linear, a partir de 30 árvores de estágio avançado.

5. DISCUSSÃO

Com a análise dos resultados os principais pontos a serem destacados são as relações da altura total, área de copa e as densidades foliares das árvores influenciando na mensuração correta das alturas totais das árvores com o uso de dados obtidos com a RPA.

No primeiro processo de filtragem dos dados, as árvores que não puderam ser visualizadas nas imagens foram relacionadas à qualidade dos produtos gerados, destacando a presença de áreas com ruídos e distorções principalmente nas bordas do MDS, MDT e ortomosaico.

Para Morte et al., (2020) esses ruídos ocorrem por haver uma superestimativa da altitude do terreno. As distorções identificadas em regiões mais centralizadas não

interferiram na mensuração da altura das árvores, embora tenham dificultado, e em alguns casos inviabilizados, a distinção de copas adensadas. Sendo assim, para uma maior viabilidade na quantificação das áreas de copas por meio da RPA é melhor em áreas onde não se tem o fechamento do dossel completo ou em árvores isoladas.

Embora possa ter maior assertividade em determinadas classes de altura, o principal fator que representa esse resultado está relacionado a densidade foliar das árvores, conforme apresentado na Figura 14. Nas árvores com boa densidade foliar a mensuração da altura apresentou melhores resultados. Além dessas árvores, aquelas que não possuíam sobreposição de copas com outras árvores, o cálculo das áreas foi significativo.

Com os dados remanescentes após a segunda seleção, foi realizado o ajuste de um modelo linear devido ao comportamento da dispersão dos dados. O modelo apresentou elevado R^2 , mostrando que os dados possuem forte correlação, e um baixo RMSE, representando uma boa precisão da equação (Figura 17, 19, 22).

Vale destacar que em áreas com vegetação nativa caducifólias, fato ocorrido no local de estudo, a coleta de dados por meio de RPA torna-se limitada pela baixa densidade foliar em determinadas épocas do ano. Nas demais situações, a limitação pode estar na sobreposição das copas e na qualidade dos produtos, que possui relação com a escala da análise conduzida. A altura do voo deve ser avaliada em estudos mais detalhados, pois quanto menor a altura de voo melhor a resolução a ortoimagem e dos modelos digitais, porém a topografia do terreno continua sendo um fator limitante para a escolha da altura e também da escala de voo.

Por fim, em áreas maiores o ideal é implantar pontos de controle e verificação em campo, a fim de melhorar a precisão da ortoimagem e dos modelos digitais (algo a se testar no futuro). Pode ser testado também diferentes períodos em secos e húmidos, já que o trabalho em questão foi feito apenas no período de seca (inverno).

6. CONCLUSÃO

Para as 80 árvores medidas a mensuração das alturas foi eficaz para 66, as quais apresentaram alta correlação com os dados de campo (R^2 de 0,99) no estágio inicial e (R^2 de 0,94) no estágio intermediário e (R^2 de 0,81) no estágio avançado, representando uma boa perspectiva para utilização dos produtos gerados por meio de voo com VANTs para mensuração da variável altura total. As principais causas de erros estão associadas a distorções de bordas da imagem, a sobreposição de copas e a baixa densidade foliar de algumas árvores em determinados períodos do ano. A proposta da pesquisa foi significativa, precisa de novas investigações afim de aprimorar a técnica.

Contudo, vimos que os dados da modelagem comparados com os convencionais de medição de altura obteve um bom resultado.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC). **Classes de Drone (RPA)**. Disponível em: < <https://www.gov.br/anac/pt-br/assuntos/drones/classes-de-drones>>. Acesso em 20 de fevereiro de 2022.

AGUIAR, Valther Xavier. **VANT, uma ameaça à Fotogrametria**. Disponível em: <<http://www.anea.org.br/artigos/VANTeFotogrametria.pdf>>. Acesso em 20 de agosto de 2019.

CASTRO, F.C; CENTENO, T.M. **Segmentação de imagens geradas por perfilamento a laser para delimitação de árvores individuais em uma área de reflorestamento de eucaliptos**. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 737- 744.

CÓRDOBA, P. **Levantamento Fotogramétrico de Monumentos Arquitetônicos para Projetos de Restauração - Estudo de Caso: Palácio Itamaraty – Brasília, DF**. Distrito Federal, 2012

DE MELO, Fabrício Teixeira. **AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS DE ATIVIDADES UTILIZADORAS DE RECURSOS NATURAIS NO CAMPUS DO IFMG EM SÃO JOÃO EVANGELISTA, MINAS GERAIS. Mestrado Profissional em Sustentabilidade em Tecnologia Ambiental**, n. 1, p. 188-188, 2018.

DJI. **PHANTOM 4 ADVANCED**. Disponível em: < <https://www.dji.com/br/phantom-4-adv>> Acesso em 25 de fevereiro de 2022.

Droeng. **Como funciona a fotogrametria a bordo do VANT?**. Disponível em: <<http://blog.droneng.com.br/fotogrametria-a-bordo-do-vant/>> Acesso em 20 de agosto de 2019.

Dronar. **Conheça tudo sobre o novo Software da Agisoft: PhotoScan.** Disponível em: <<https://dronar.com.br/agisoft-photoscan-o-que-e-conheca-o-novo-software/>>. Acesso em 18 de agosto de 2019.

DUBAYAH, R.; KNOX, R.; HOFTON, M.; BLAIR, J. B.; DRAKE, J. Land surface characterization using LiDAR remote sensing. In: HILL, M. e ASPINALL, R. (Ed.).

Embrapa. **Cientistas usam drone para fazer inventário de florestas e estimar volume de madeira.** Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/46891736/cientistas-usam-drones-para-fazer-inventario-de-florestas-e-estimar-volume-de-madeira>>. Acesso em 18 de agosto de 2020.

Embrapa Meio Ambiente. **Recuperação de Áreas Degradadas.** Disponível em: <<http://www.cnpma.embrapa.br/unidade/index.php3?id=229&func=pesq>>. Acesso em 20 de agosto de 2019.

FELGUEIRAS, Carlos Alberto. Análises sobre modelos digitais de terreno em ambiente de sistemas de informações geográficas. **DPI/INPE**, 1999.

FOLHARINI, S.; OLIVEIRA, RC DE; FURTADO, AL dos S. Metodologia para conversão de Modelo Digital de Elevação em Modelo Digital do Terreno. In: **Embrapa Territorial-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17., 2015, João Pessoa. Anais... São José dos Campos: INPE, 2015., 2015.

Futuriste. **Problemas Técnicos mais comuns em Drones – O Guia Definitivo.** Disponível em: <<http://futuriste.com.br/blog/problemas-tecnicos-drones/>>. Acesso em 20 de agosto de 2019.

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

HALLAK, Ricardo; PEREIRA FILHO, Augusto José. Metodologia para análise de desempenho de simulações de sistemas convectivos na região metropolitana de São Paulo com o modelo ARPS: sensibilidade a variações com os esquemas de advecção e assimilação de dados. **Scielo Brasil**: Revista Brasileira de Meteorologia, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 1-34, mar. 2022. Semanal.

IBF Instituto Brasileiro de Florestas. **Bioma Mata Atlântica**. Disponível em: <<https://www.ibflorestas.org.br/bioma-mata-atlantica>> Acesso em 24 de fevereiro de 2022.

IBGE. **Malha Municipal**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html?=&t=downloads>> Acesso em 24 de fevereiro de 2022.

Instituto Federal de Minas Gerais *Campus* São João Evangelista. **A Instituição**. Disponível em: <https://www.sje.ifmg.edu.br/portal/antigo/index.php?option=com_content&view=category&id=71&Itemid=7>. Acesso em: 17 de setembro de 2019.

ITARC. **História dos drones: como surgiram? Para que servem?**. Disponível em: <<https://itarc.org/historia-dos-drones/>>. Acesso em 20 de agosto de 2019.

IT Forum 365. **Tem um drone? Então confira essas 10 dicas para voar com segurança**. Disponível em: <<https://www.itforum365.com.br/tem-um-drone-entao-confira-essas-10-dicas-para-voar-com-seguranca/>>. Acesso em 20 de agosto de 2019.

JORGE, LA de C.; INAMASU, Ricardo Y. Uso de veículos aéreos não tripulados (VANT) em agricultura de precisão. **Embrapa Instrumentação-Capítulo em livro científico (ALICE)**, 2014.

MATOS, A.C.O.C., 2005. **Implementação de modelos digitais de terreno para aplicações na área de Geodésia e Geofísica na América do Sul**. PhD thesis -

Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 355 p. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-10102005-104155>. Acessado em 2022.

Ministério do Meio Ambiente. **Mata Atlântica**. Disponível em: https://antigo.mma.gov.br/biomas/mata-atl%C3%A2ntica_emdesenvolvimento.html Acesso em 24 de fevereiro de 2022.

Ministerio do Meio Ambiente. **Recuperação de Áreas Degradadas**. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/informma/item/8705-recupera%C3%A7%C3%A3o-de-%C3%A1reas-degradadas>. Acesso em 20 de agosto de 2019.

Mongabay. **O QUE É O DOSSEL?**. Disponível em: <https://world.mongabay.com/brazilian/004.html>. Acesso em 18 de agosto de 2019.

MORTE, Caio de Lima Boa *et al.* **USO DE VANT COMO FERRAMENTA PARA ESTIMATIVA DE ALTURA DE DOSSEL EM MANGUEZAL: UM ESTUDO INVESTIGATIVO EM GUARATIBA, RIO DE JANEIRO, BRASIL**. 2020. 10 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia, Tecnológico, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020. Cap. 1.

PAPA, D. de A. *et al.* **USO DO LIDAR NO MANEJO FLORESTAL**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1078727/uso-do-lidar-no-manejo-florestal>. Acesso em 17 de agosto de 2019

PEEL, M.C.; FINLAYSON, B.L.; MCMAHON, T.A. **Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification**. *Hydrology and Earth System Sciences*, v.11, p.1633-1644, 2007. Disponível em <http://www.hydrol-earth-syst-sci.net/11/1633/2007/hess-11-1633-2007.pdf> Acesso em 17 de setembro de 2019.

PIRES, J. M. **Uso do Lidar (Light Detection and Ranging) para estimação da altura de árvores em povoamentos de eucalipto**. 2005. 39f. Tese de Doutorado.

Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

REIS, BRUNA PAOLINELLI. **MONITORAMENTO DE ÁREAS DE RESTAURAÇÃO FLORESTAL E GERAÇÃO DE RECOMENDAÇÕES DE MANEJO ADAPTATIVO ATRAVÉS DE IMAGENS OBTIDAS POR VANT E LIDAR**. 2017. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa.

Render Blog. **Fusion 360 – Soluções para Projetos**. Disponível em: <<https://blog.render.com.br/cad-e-cae/fusion-360-solucoes-para-projetos/>> Acesso em 20 de agosto de 2019.

Resolução Conama nº 33. 1994. Diário Oficial da União, 30-VII-1994, n. 248, Seção 1, pp. 21351-21353.

SCOLFORO, J. R. S.; CARVALHO, L. M. T. (org) 2006. **Mapeamento e inventario da flora nativa e reflorestamentos de Minas Gerais**. 1. ed. Lavras: Editora UFLA. v. 1. 288 p.

SILVA, M.; COELHO, R. RESOLUÇÃO CONAMA no 392, de 25 de junho de 2007. **Ministério do Meio Ambiente**, 2007.

Spatial Information for Land Use Management. Singapore: International Publishers Direct, 2000. DUBAYAH, R.O.; DRAKE, J.B. Lidar remote sensing for forestry. **Journal of Forestry**, v. 98, p. 44–46, 2000.

UFLA; UFV. Universidade Federal de Lavras; Universidade Federal de Viçosa. **Mapa de Solos de Minas Gerais**. Legenda Expandida. 2010.

WEHR, A.; LOHR, U. Airborne laser scanning – an introduction and overview. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v.54, n. 2-3, p. 68-82, 1999.