



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

RAYANE MIRELI SILVA GOMES

DETECÇÃO DE ÁRVORES INDIVIDUAIS POR MEIO DO LIDAR PARA A GESTÃO
DA ARBORIZAÇÃO DO CAMPUS-DOIS IRMÃOS DA UFRPE

RECIFE

2019

RAYANE MIRELI SILVA GOMES

DETECÇÃO DE ÁRVORES INDIVIDUAIS POR MEIO DO LIDAR PARA A GESTÃO
DA ARBORIZAÇÃO DO CAMPUS-DOIS IRMÃOS DA UFRPE

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia
Florestal da Universidade Federal Rural de
Pernambuco, como parte das exigências
para obtenção do título de Bacharel em

Orientador: Prof. Dr. Emanuel Araújo Silva

Coorientadora: Me. Vanessa Souza da Silva

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Biblioteca Central, Recife-PE, Brasil

G633d Gomes, Rayane Mireli Silva

Detecção de árvores individuais por meio do lidar para a gestão da arborização do Campus - Dois Irmãos da UFRPE / Rayane Mireli Silva Gomes. – 2019.

40 f.: il.

Orientador: Emanuel Araújo Silva.

Coorientador: Vanessa Souza da Silva.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Engenharia Florestal, Recife, BR-PE, 2019.

Inclui referência.

1. Arborização das cidades 2. Mapeamento florestal 4. Gestão ambiental 5. R (Linguagem de programação de computador) I. Silva, Emanuel Araújo, orient. II. Silva, Vanessa Souza da, coorient. III. Título

CDD 634.9

RAYANE MIRELI SILVA GOMES

DETECÇÃO DE ÁRVORES INDIVIDUAIS POR MEIO DO LIDAR PARA A GESTÃO
DA ARBORIZAÇÃO DO CAMPUS-DOIS IRMÃOS DA UFRPE

APROVADO EM: 11/07/2019

Orientador
Dr. Emanuel Araújo Silva
(Orientador - Universidade Federal Rural de Pernambuco)

(Coorientadora)
MSc. Vanessa Souza da Silva

Banca examinadora:

Prof. Dr. Everaldo Marques de Lima Neto
(Departamento de Ciência Florestal/UFRPE)

Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira
(Departamento de Ciência Florestal/UFRPE)

RECIFE

2019

AGRADECIMENTOS

Antes de qualquer coisa, preciso agradecer a Deus, não só hoje, como em todos os dias da minha vida, por todas as bênçãos concedidas a mim, e sei que sem Ele, nada seria possível.

À minha mãe, que como sempre guerreira, nunca saiu do meu lado, nunca me faltou o seu apoio, principalmente na escolha de minha profissão, e que foi além dos seus limites para que eu pudesse chegar onde cheguei.

À minha família materna, que com todas adversidades, me proporcionou uma vida feliz em um lugar onde comecei a enxergar o que eu deveria ser quando crescesse.

Ao meu amor, Kenedy, que com todo o seu amor e companheirismo, me fez chegar cada vez mais longe.

Ao meu Pai, que apesar de toda a distância, não o esqueço.

Aos meus amigos de turma, Aline Amorim, Aline Veloso, Iran Jorge, Isabelly Meg, Lucas Benedito, Patrícia Batista e Tainá Sabino Coelho que por todos esses anos, entre tantos risos e até lágrimas, permanecemos unidos e felizes com a conquista de cada um.

À Maria Clara, que depois de muita convivência passamos a ver o mundo de uma forma bem parecida e a me mostrar que não há problema no mundo que possa nos vencer.

Aos professores da Universidade, por todos os ensinamentos passados a nós, alunos.

À maravilhosa experiência de um estágio na Compesa, onde conheci profissionais aos quais me espelho.

À Vanessa Souza, por toda a luz, força e pensamento positivo pra mim.

Ao querido Professor Emanuel, com quem pude contar e tanto me ajudou nas minhas dificuldades.

RESUMO

As florestas urbanas são elementos que promovem o equilíbrio entre os meios urbanos e rurais, apresentando importante caráter social, político, econômico e arquitetônico, além propiciar uma melhoria na qualidade de vida da população. O *LiDAR* é uma tecnologia que vem sendo utilizada em aplicações florestais com certo crescimento na frequência, isso se deve principalmente à rápida disponibilização e acesso aos dados e estes serem muito acurados. Inventário florestal é uma atividade essencial para o conhecimento e caracterização qualitativas e quantitativas de áreas florestais, mas que demanda muito tempo, portanto, muitas empresas e profissionais estão recorrendo às técnicas de sensoriamento remoto para otimizar a realização da atividade, quanto ao tempo, custo e eficiência. Com o constante aprimoramento das tecnologias, o sensoriamento remoto passou a fazer parte das técnicas e metodologias utilizadas no monitoramento e gestão de áreas verdes. A detecção automática de árvores individuais é um procedimento fundamental para estudos que tem como objetivo a extração de dados dendrométricos a nível de árvore, a altura, por exemplo, é uma medida que no campo, de forma tradicional, pode ser difícil sua obtenção. Esses dados de árvores individuais permitem representar as características de copa e/ou dossel, além de futuras análises e caracterizações estruturais e florísticas da vegetação. Diante do exposto, o objetivo do presente trabalho foi explorar o potencial de dados *LiDAR* aerotransportado, na detecção de árvores individuais em área de floresta urbana, no campus sede da UFRPE, usando o *Fusion*, a tecnologia tem como princípio fazer uma varredura a laser de um terreno emitindo pulsos em uma frequência elevada e calculando o tempo de retorno desses pulsos até o sensor, formando uma nuvem de pontos mapeando o terreno abaixo. Utilizando o software *Fusion*, foi realizado a separação de solo e superfície, por meio do comando *Groundfilter*, seguido da criação dos modelos digitais de terreno e superfície, utilizando o comando *GridsurfaceCreate*. Ainda em ambiente *Fusion*, foi realizado a criação do modelo digital do dossel (CHM) por meio do comando *Canopymodel*. Após o processamento foi realizada a análise dos dados no *RStudio*, utilizando pacotes e funções próprios para este tipo de processamento. Na função *FindTreesDetection*, foram utilizados três tamanho de janela de filtro, uma vez que o estudo é referente à área de vegetação sem espaçamento padrão. Os resultados obtidos demonstraram que na área de estudo, conforme cálculo do *RStudio*, o com base nas janelas de filtro 3x3, 5x5 e 7x7, existem respectivamente, 6.263, 2.356 e 1.367 árvores identificadas durante o processamento.

Palavras-chave: Florestas urbanas. Gestão da arborização. Detecção de árvores. Tecnologia *LiDAR*. Linguagem R.

ABSTRACT

Urban forests are elements that promote the balance between urban and rural environments, presenting important social, political, economic and architectural character, besides providing an improvement in the population's quality of life. LiDAR is a technology that has been used in forest applications with certain frequency growth, mainly due to the fast availability and access to data and its accuracy. Forest inventory is an essential activity for the qualitative and quantitative knowledge and characterization of forest areas, but it is very time consuming, so many companies and professionals are using remote sensing techniques to optimize the performance of the activity, in terms of time, cost and efficiency. With the constant improvement of technologies, remote sensing became part of the techniques and methodologies used in the monitoring and management of green areas. Automatic detection of individual trees is a fundamental procedure for studies that aim to extract dendrometric data at tree level, height, for example, is a measure that in the field can be difficult to obtain in the traditional way. These data from individual trees allow us to represent canopy and / or canopy characteristics, as well as future analyzes and structural and floristic characterizations of the vegetation. Given the above, the objective of the present work was to explore the potential of airborne LiDAR data for detecting individual trees in an urban forest area at the UFRPE headquarters campus, using Fusion, the technology has as its principle a laser scanning of a terrain emitting pulses at a high frequency and calculating the return time of these pulses to the sensor, forming a cloud of dots mapping the terrain below. Using the Fusion software, soil and surface separation was performed using the Groundfilter command, followed by the creation of digital terrain and surface models using the GridsurfaceCreate command. Still in a Fusion environment, a digital canopy model (CHM) was created using the Canopymodel command. After processing, data analysis was performed in RStudio, using packages and functions specific to this type of processing. In the FindTreesDetection function, three filter window sizes were used, since the study refers to the vegetation area without standard spacing. The results showed that in the study area, as calculated by RStudio, based on the 3x3, 5x5 and 7x7 filter windows, there are, respectively, 6,263, 2,356 and 1,367 trees identified during processing.

Keywords: Urban forests. Tree management. Tree Detection. LiDAR technology. R. language

LISTA DE FIGURAS.....	
Figura 1 - Mapa de localização da Universidade Federal Rural de Pernambuco.....	29
Figura 2 - Visualização de recorte de área da UFRPE obtido por meio do GroundFilter, em ambiente Fusion 3.80.....	31
Figura 3 - Visualização DTM de recorte de área da UFRPE com pontos indicação circular em vermelhos de exemplificação quadriculados.	33
Figura 4 - Visualização do DSM de recorte gerado no Fusion.	34
Figura 5 - Representação dos dados em recorte da área.....	34
Figura 6 - CHM após suavização no Fusion em recorte do prédio central da Sede da UFRPE.	35
Figura 7 - Recorte de área com demonstrativo de obtenção das árvores pelo filtro 3x3. ...	38
Figura 8 - Recorte de área com demonstrativo de obtenção das árvores pelo filtro 5x5. ...	39
Figura 9 - Recorte de área com demonstrativo de obtenção das árvores pelo filtro 7x7. ...	39
Figura 10 - Recorte de área com demonstrativo de obtenção das árvores pela contagem manual.	40
Figura 11 - Área total com as árvores obtidas pelo filtro 5x5.....	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Detalhes de aquisição dos dados LiDAR para o Estado de Pernambuco em 2014.	30
Tabela 2 - Comandos utilizados no processamento dos dados no Fusion e suas respectivas funções.....	31
Tabela 3 - Parâmetros da função GridSurfaceCreate.	32
Tabela 4 - Pacotes do RStudio necessários para a análise dos arquivos gerados no Fusion.	35
Tabela 5 - Resultados obtidos pelos filtros em n° e porcentagem(%) de erro.....	37
Tabela 6 – Dados obtidos pelos filtros e contagem manual em n° encontrado e n° de erro.	38

LISTA DE SIGLAS

SIG - Sistema de Informação Geográfica

IV - Índice de Vegetação

LiDAR - Light Detection And Ranging

IMU - Unidade de Medição Inercial

MDE - Modelo Digital de Elevação

CHM - Canopy Height Model

DTM - Digital Terrain Model

DSM - Digital Surface Model

UFRPE - Universidade Federal Rural de Pernambuco

UAG - Unidade Acadêmica de Garanhuns

UAST - Unidade Acadêmica de Serra Talhada

UACSA - Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho

UAETD - Unidade Acadêmica de Ensino à Distância

CODAI - Colégio Dom Agostinho Aikas

SMUP - Sistema Municipal de Unidades Protegidas

JB - Jardim Botânico

UCN - Unidades de Conservação da Natureza

UCP - Unidades de Conservação da Paisagem

UEA - Unidade de Equilíbrio Ambiental

IPAV - Imóvel de Proteção de Área Verde

AVCEL - Área Verde de Convivência, Recreação, Esporte ou Lazer

AVPV - Área Verde Pública de Composição Viária

LUOS - Lei de Uso e Ocupação do Solo

PE3D - Pernambuco Tridimensional

PSHPE - Programa de Sustentabilidade Hídrica de Pernambuco

VP - Verdadeiro Positivo

FN - Falso Negativo

FP - Falso Positivo

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	19
2. OBJETIVOS	21
2.1 OBJETIVO GERAL	21
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	22
3.1 Florestas Urbanas	22
3.3 Sensoriamento Remoto para Gestão de Árvores Urbanas	25
3.4 LiDAR - Light Detection And Ranging	26
3.5 Universidade Federal Rural de Pernambuco	27
4. MATERIAL E MÉTODOS	29
4.1 Área de Estudo	29
4.2 Banco de Dados	30
4.3 Metodologia	30
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	42
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43

1. INTRODUÇÃO

Os fragmentos florestais urbanos, são capazes de atenuar a temperatura do ar, interceptar a radiação solar e manter a velocidade do ar em baixa amplitude, caracterizando ventos leves na Escala Beaufort (DACANAL et al, 2010). Segundo Filho e Santin (2002), O aproveitamento desses fragmentos como bosques públicos minimiza a ação de alguns fatores de perturbação, tais como incêndios, extração seletiva e invasão pelo gado.

Para Dacanal et al. (2010), diante das mudanças globais e da necessidade de adesão ao paradigma do desenvolvimento sustentável, reconhece-se a importância da preservação e da reconstituição das florestas no meio urbano, em benefício da conservação de espécies da fauna e da flora, do balanço hídrico e da qualidade da água, da qualidade do ar, do clima e, conseqüentemente, da qualidade de vida humana.

As geotecnologias auxiliam em especial a silvicultura urbana no que diz respeito ao planejamento da expansão das áreas urbanas, de estudos de áreas de risco ambiental, áreas de lazer e parques, modelos de elevação, classificação do uso do solo, locação de redes de energia, água e gás, desenvolvimento de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) para gerenciamento de unidades residenciais, comerciais e de pontos turísticos, cadastro de árvores para valoração e realocação e realização de planos diretores. Portanto, possuem uma vantagem significativa de obter informações sem invadir a área de estudo utilizando técnicas de sensoriamento remoto (ALVAREZ, 2013).

A aplicação do sensoriamento remoto se expandiu em diversas áreas devido à disponibilidade gratuita de imagens de satélites e de alguns programas computacionais, de forma que, atualmente, dados obtidos através do Sensoriamento Remoto estão presentes no dia a dia do cidadão comum (LIMA, 2011). Souza et al. (2011) acrescentam que, devido aos avanços tecnológicos na área do (SIG), as pesquisas ambientais tiveram um novo norte pois, para lidar com recursos naturais, é necessária a observação e a análise feita de maneira multitemporal.

Por meio de SIG é possível avaliar e monitorar atividades de manutenção da arborização urbana, por exemplo, em estudo que necessita de acompanhamento devido existência de possíveis conflitos pela proximidade com população em expansão irregular e desordenada. Portanto, o pesquisador amparado pelo Sensoriamento Remoto, interpreta as imagens, consegue construir diversos mapas de períodos diferentes.

Uma das atividades mais requisitadas aos engenheiros florestais é o inventário florestal, trata-se de uma atividade onde, a partir das informações obtidas nos levantamentos, se obterão conhecimentos acerca do local que auxiliarão no planejamento e nas tomadas de decisões a para atingir os objetivos do manejo. Para árvores de ruas, o inventário florestal também é necessário para manejo e o sensoriamento remoto pode ser um bom aliado para agilizar essa atividade. Ainda não é possível de ser feito totalmente de forma remota, mas existem possibilidades que estão em estudo para aprimorar a captação de novos espectros das imagens para identificação de espécies por meio de sensor hiperespectral e de dados adquiridos por laser que dariam as dimensões das árvores (ALVAREZ, 2013).

Para evitar altos custos com inventário florestal, as grandes empresas estão cada vez mais buscando alternativas para que se possa atingir os resultados, de forma mais prática e barata. Para isso o sensoriamento remoto vem como uma grande estratégia de facilitar a execução das atividades. Nesse contexto, a tecnologia *LiDAR*, chega ao mercado com ainda mais possibilidades de trabalhabilidade do que as imagens de satélite, mais precisão e mais independente de condições adversas para se realizar um vôo numa dada região e coletar os dados que são necessários para a atividade a ser desenvolvida.

Dessa forma, vê-se a importância de realizar procedimentos em uma área relativamente pequena como forma de evidenciar que com a utilização destas tecnologias poderá ser mais acessível o monitoramento de áreas de difícil acesso, ou áreas protegidas, mas que sofrem influência do que está em seu entorno. O conhecimento da localização dos indivíduos arbóreos também pode auxiliar muito estudos futuros acerca da área, ou de conhecimento do que existia previamente no local.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

- Explorar o potencial de dados *LiDAR* aerotransportado, na detecção de árvores individuais em área de floresta urbana, no campus sede da UFRPE

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desenvolver metodologia de detecção de indivíduos arbóreos;
- Utilizar técnicas para de detecção de árvores individuais.
- Realizar inventário para gestão de árvores urbanas

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Florestas Urbanas

As Florestas Urbanas representam um referencial urbanístico com importante caráter social, político, econômico e arquitetônico. Além de desempenhar condições e propriedades de uma estrutura arquitetônica vegetal, possui importantes atributos históricos, artísticos e paisagísticos. Mas, quando se encontra inserida na malha urbanizada, enfrenta difíceis condições de sobrevivência, embora haja reconhecimento que a massa vegetal serve diariamente às pessoas que buscam um contato com a natureza, ao realizarem suas atividades urbanas (SÃO PAULO, 2011).

Para Miller (1997), as florestas urbanas podem ser definidas como sendo a soma de toda madeira e vegetação associada no entorno de assentamentos humanos, desde pequenas comunidades rurais a regiões metropolitanas. Assim, nas cidades, a soma de todas as árvores presentes em vias, parques, cinturão verde e residenciais, por exemplo, são classificadas como uma floresta urbana.

Entretanto, há quem defina de outra forma, Hultman (1976) e Ridberg e Falk (1999) afirmam que a floresta urbana é mais frequentemente definida como "o cultivo e o manejo das árvores pela sua contribuição presente e potencial para o bem-estar fisiológico, sociológico e econômico da sociedade urbana, excluindo do termo floresta urbana a arboricultura, levando a contestação ao se utilizar apenas um termo para se referir à árvores isoladas e florestas. Considerando estes significados, tanto o termo arborização teria dificuldades em atingir as atividades florestais, como o termo floresta urbana também dificilmente seria aplicado para árvores isoladas, por exemplo (MAGALHÃES, 2006).

O estabelecimento da arborização urbana não se restringe ao simples plantio de árvores em vias, praças e jardins, mas devendo ser fundamentado em critérios técnico-científicos para atingir objetivos específicos de ornamentação, melhoria microclimática, conservação da biodiversidade, diminuição da poluição, entre outros (MELO E MEUNIER, 2016).

Essa relação entre as florestas urbanas e o meio urbano é complexa e exige cuidados especiais no planejamento e execução dos trabalhos de implantação e condução dessas florestas. Danos às árvores urbanas e transtornos às pessoas são resultados frequentes de falta de estudos prévios, planejamento deficiente e má condução de trabalhos de manutenção e monitoramento, ocasionando em conjuntos arbóreos incapazes de fornecer os serviços

ambientais esperados, danos às árvores decorrentes de injúrias e mutilações e até queda de árvores, com prejuízos para a coletividade.

Para Melo e Meunier (2016), a degradação das condições ambientais nas grandes cidades é um dos fatores que contribuem para diminuição da qualidade de vida no meio urbano, ressaltando os problemas de instabilidade microclimática, poluição sonora, atmosférica, hídrica e visual. Dessa forma, o papel das florestas urbanas, é conhecido na redução dos impactos negativos dos excessos da urbanização.

As áreas verdes são reconhecidas por trazer valiosas contribuições para o meio ambiente e para o bem-estar social no âmbito urbano (COSTA, 2010). As funções que esses espaços exercem e os benefícios providos são extensivos e múltiplos. Tal variedade e multifuncionalidade dessas áreas verdes significa que ela pode prover os mais variados benefícios de maneiras diversas, a usuários diferentes e com resultados diversos. As áreas verdes urbanas têm um papel importante em relação à qualidade de vida de seus habitantes e são essenciais na formação da identidade da comunidade, porque dão forma, pregam o caráter e a imagem de um bairro ou de uma cidade.

O termo arborização urbana acabou sendo muito mais difundido no Brasil confundindo-se às vezes com as definições de floresta urbana (ROSSETTI et al, 2010). Visto que a arborização urbana remete a um padrão de distribuição de árvores em um território urbano. Pode-se concluir que as árvores em vias públicas e demais áreas livres de edificações atuam sobre o conforto humano no ambiente, como foi visto por Dacanal et al, 2010, após alguns questionários em cinco bosques da cidade de Campinas - SP, os usuários entrevistados, retratam os bosques como locais confortáveis, atribuindo isso a presença da natureza, sendo o microclima específico da floresta, o ar fresco e a percepção de ar puro citados pela população e podem ser relacionados ao conforto ambiental.

3.2 Gestão de Arborização Urbana

Toda vegetação arbórea ou arbustiva presente em uma cidade, é denominada de arborização urbana, desta forma, qualquer intervenção, seja plantio ou manutenção, escolha das espécies e suas características que mais se adequa, precisam de planejamento e assistência do poder público, com objetivos definidos e fundamentados técnica e cientificamente (MANUAL DE ARBORIZAÇÃO URBANA DA CIDADE DO RECIFE, 2013).

Esse procedimento, além de promover as melhores condições de desenvolvimento e conservação das árvores, contribui para a prevenção de possíveis acidentes e transtornos à mobilidade, visa reduzir gastos de manutenção e procura evitar futuras remoções de árvores inseridas em locais inapropriados (MANUAL DE ARBORIZAÇÃO URBANA DA CIDADE DO RECIFE, 2013).

São muitos os benefícios advindos das árvores, como por exemplo, elas funcionam como um importante filtro ambiental, pois são capazes de reduzir a poluição atmosférica, amenizar o calor, insolação, velocidade dos ventos e até mesmo ruídos. Também contribuem no combate a erosão de solos desnudos e os frutos produzidos servem como fonte alimentar para os animais que as usam como abrigo (MANUAL DE ARBORIZAÇÃO URBANA DE NATAL, 2009).

Para Melo e Romanini, (2007) a arborização urbana é muito importante para a melhoria das condições de vida nos centros urbanos, além do que, a gestão da arborização se torna um fator imprescindível para a correta utilização das áreas verdes, intimamente relacionada com a quantidade, a qualidade e a distribuição das mesmas dentro da malha urbana.

A manutenção das árvores é uma etapa onde são envolvidas várias práticas afins de assegurar o bom estado da arborização implantada ao longo do tempo, como por exemplo as regas, adubações, podas, tratamentos fitossanitários ou, caso necessário, supressão e plantio, que são iniciadas logo após o plantio (MANUAL DE ARBORIZAÇÃO URBANA DA CIDADE DO RECIFE, 2013).

Todo o acompanhamento e intervenções ocorridas durante a manutenção e avaliação das árvores presentes no ambiente urbano, resultam em um grande banco de dados contendo informações pertinentes a cada indivíduo a desde a sua localização detalhada e informações acerca do local em que ele está inserido, dados de inventário, necessidade de intervenções, entre outros.

Pode-se concluir que planejar e gerir o espaço público urbano não é uma tarefa simples e mecanicista, não há um modelo ou padrão que se aplique em todos os casos, cada localidade necessita de um planejamento próprio, de acordo com suas necessidades, também requer envolvimento de pessoas de diversas funções da sociedade para que haja bem comum, ou que se aproxime a isto. A complexidade nas relações socioculturais e as relações de poder

entre os atores sociais, fazem com que a dinâmica do uso e ocupação do solo perpassa um mero instrumento legislativo emanado pelo governo (PAULO E QUIRINO, 2014).

3.3 Sensoriamento Remoto para Gestão de Árvores Urbanas

Historicamente, reconhece-se que o termo sensoriamento remoto foi criado para designar o desenvolvimento dessa nova tecnologia de instrumentos capaz de obterem imagens da superfície terrestre a distâncias remotas. Portanto, a definição mais científica de sensoriamento remoto é: Sensoriamento remoto é uma ciência que visa o desenvolvimento da obtenção de imagens da superfície terrestre por meio da detecção e medição quantitativa das respostas das interações da radiação eletromagnética com os materiais terrestres (MENESES e ALMEIDA, 2012).

Deste modo é uma tecnologia que vem sendo cada vez mais requisitada em boa parte das ciências, segundo Souza et al, 2007, e é empregado em diversos estudos de avaliações diferentes. Como ferramentas principais, o sensoriamento remoto oferece recursos como fotografias aéreas e imagens digitais, mas, com o avanço na modernização das tecnologia empregadas em sensores, acrescenta mais qualidade aos recursos, aperfeiçoando os resultados (SOUZA et al. 2007).

Dentre tantas aplicações das tecnologias para a ciências florestais, Cassol (2013) e Qureshi et al (2012), aplicar dados provenientes de sensores remotos é uma solução promissora principalmente quando a metodologia convencional do trabalho a ser empregada vem a ser destrutivo e/ou que demandem muito esforço para a sua realização e também para se reduzir tempo e custo quando comparadas aos métodos tradicionais. Um exemplo, é o método para estimar o estoque de carbono em florestas.

Comumente são utilizados, para o estudo da vegetação através do sensoriamento remoto Índices de Vegetação (IV). Estes índices são resultados de operações algébricas entre os valores da reflectância envolvendo duas ou mais faixas espectrais. O objetivo dos IV é extrair e ampliar as informações acerca da vegetação e ao mesmo tempo minimizar os efeitos do ambiente através da combinação de duas ou mais bandas de distintas regiões do espectro (SILVA, 2012; JACKSON; HUETE, 1991).

No caso de levantamentos realizados acerca de arborização ou gestão de áreas verdes, há uma grande quantidade de dados que são gerados em formato analógico, que acabam por se tornarem obsoletos com o tempo, devido ao fato do grande volume de dados gerados, em

formato que dificulta sua atualização e acompanhamento. Sendo assim, existe a necessidade de organização desses dados de forma sistematizada, criando um banco de dados que possibilite a relação, compilação, análise e ligação desses dados com dados cartográficos gerados em diferentes pesquisas utilizando um Sistema de Informações Geográficas (SIG) (OLIVEIRA FILHO; SILVA, 2010; ACCIOLY 2006).

Para Oliveira Filho e Silva (2010), que fizeram o banco de dados no software Spring, a criação desse tipo de banco de dados se mostrou com grande potencial para consultas futuras, além da fácil visualização dos planos de informações (árvores, postes, vias, rede elétrica, entre outros) e como ferramenta para o monitoramento e manejo da arborização urbana, além de, em casos de futuras implantações, servir de base e apoio no planejamento das atividades.

O uso das tecnologias provenientes do sensoriamento remoto demonstra ser efetivas na análise da cobertura vegetal, permitindo acompanhar as contínuas mudanças no crescimento, acúmulo de biomassa e carbono ocorrentes na dinâmica de um ecossistema florestal natural (HENTZ et al, 2014).

3.4 LiDAR - Light Detection And Ranging

A tecnologia *LiDAR - Light Detection And Ranging* consiste na utilização de laser a fim de medir certas distâncias, com equipamentos: um sensor acoplado à uma aeronave, dois aparelhos de GPS, um no solo e outro na aeronave, uma Unidade de Medição Inercial (IMU) e um computador para armazenar os dados. Assim, do sensor acoplado à aeronave são emitidos pulsos, que ao chegarem em uma superfície bem definida, retornam ao sensor, esse tempo em que o pulso é emitido até seu retorno é calculado, então o GPS e o IMU determinam a localização e altitude precisas de modo que cada ponto seja georreferenciado (MCGAUGHEY, 2018).

Um dos problemas na obtenção de imagens de satélite, é que algumas localidades apresentam uma grande quantidade de nuvens em algumas épocas do ano, o que dificulta a interpretação e o processamento de dados nos softwares de geoprocessamento, tais como ArcGis, Spring, ERDAS, entre outros. Problema este, que pode ser evitado com o uso da tecnologia *LiDAR*, que mesmo nessas condições, ou em áreas onde o dossel é mais denso, os pulsos podem ultrapassá-los e atingir o solo (JENSEN, 2009; OLIVEIRA; MG, 2011).

Segundo Locks, 2017 e Oliveira e Mg, 2011, em cada ponto que o pulso atinge para depois retornar em direção ao sensor, possui, com precisão, coordenadas espaciais (x, y, Z), quando dispostos juntos formam uma nuvem de pontos, que virá a ser objeto de estudo para obtenção dos Modelos Digitais de Elevação (MDE), segundo Locks, 2017 e Oliveira e Mg, 2011, para o ramo da engenharia florestal, existe um modelo de superfície muito importante, o Modelo de Altura do Dossel (*Canopy Height Model* – CHM), em que as coordenadas Z do CHM são descontadas do DTM e apresentadas à altura de cada feição, como por exemplo, de cada árvore. Assim, o MDE pode ser subdividido em:

- Modelo de Altura de Dossel, do inglês *Canopy Height Model* (CHM): Onde contém todas as informações das feições encontradas na varredura:
- Modelo Digital do Terreno (MDT), do inglês *Digital Terrain Model* (DTM): Onde são consideradas apenas as informações do terreno, subtraindo os pontos acima do mesmo, como vegetação, edificações, etc.
- Modelo Digital De Superfície, do inglês *Digital Surface Model* (DSM): Captura as coberturas naturais e construídas na superfície da Terra.

Um procedimento de grande importância quando se pretende trabalhar os dados de forma a se obter dados dendrométricos de um povoamento, por exemplo, é a detecção de árvores individuais. Segundo Giongo et al, (2010), este é um ponto crucial feito no início do processamento dos dados para permitir a obtenção de outras variáveis.

Estudos vêm sendo realizados para aprimorar cada vez mais esta etapa, uma vez que ainda é preciso enfrentar algumas dificuldades, uma delas é a identificação dos indivíduos em áreas de vegetação nativa, com copas que se fundem com as mais próximas, ou que bifurcam e durante o processamento haver superestimação do número de indivíduos arbóreos, pode contabilizar o mesmo indivíduo duas ou mais vezes, isso geralmente ocorre quando não há a suavização do Modelo de Altura do Dossel (SILVA et al, 2017).

3.5 Universidade Federal Rural de Pernambuco

Ao longo de mais de 100 anos de história, a Universidade Federal Rural de Pernambuco é uma das mais tradicionais universidades do país. Conta hoje com 55 cursos de graduação, no campus sede e em três Unidades Acadêmicas, são elas: Unidade Acadêmica de Garanhuns (UAG), Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UAST), Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho (UACSA) e Unidade Acadêmica de Educação à Distância (UAEDT), esta última ainda possui polos na Bahia, Ceará, Paraíba, Pernambuco e Tocantins.

Os cursos de graduação ofertados pela universidade, em sua maioria voltados para as ciências agrárias, ou aqueles que mesmo indiretamente contribuam para o desenvolvimento de atividades relacionadas ao campo. Ainda há os cursos de pós-graduação, que somam 56 entre mestrados e doutorados e o ensino médio e técnico no Colégio Agrícola Dom Agostinho Ikas - Codai (UFRPE, 2016).

A lei municipal nº 18.451/2017 que instituiu o Sistema Municipal de Unidades Protegidas – SMUP, em quatro categorias:

- Jardins Botânicos (JB);
- Unidades de Conservação da Natureza (UCN);
- Unidades de Conservação da Paisagem (UCP);
- Unidades de Equilíbrio Ambiental (UEA);
 - Imóvel de Proteção de Áreas verdes – IPAV;
 - Jardim Histórico;
 - Área Verde de Convivência, Recreação, Esporte ou Lazer – AVCEL;
 - Área Verde Pública de Composição Viária – AVPV;
 - Árvores e Palmeiras Tombadas.

afirma que o campus sede da UFRPE é classificado como sendo um IPAV, uma vez que possui área verde formada predominantemente por árvores e arbustos, extensa e que propicia bem-estar coletivo, que deverá ser mantida, pelo menos, 70% preservada (RECIFE, 2014).

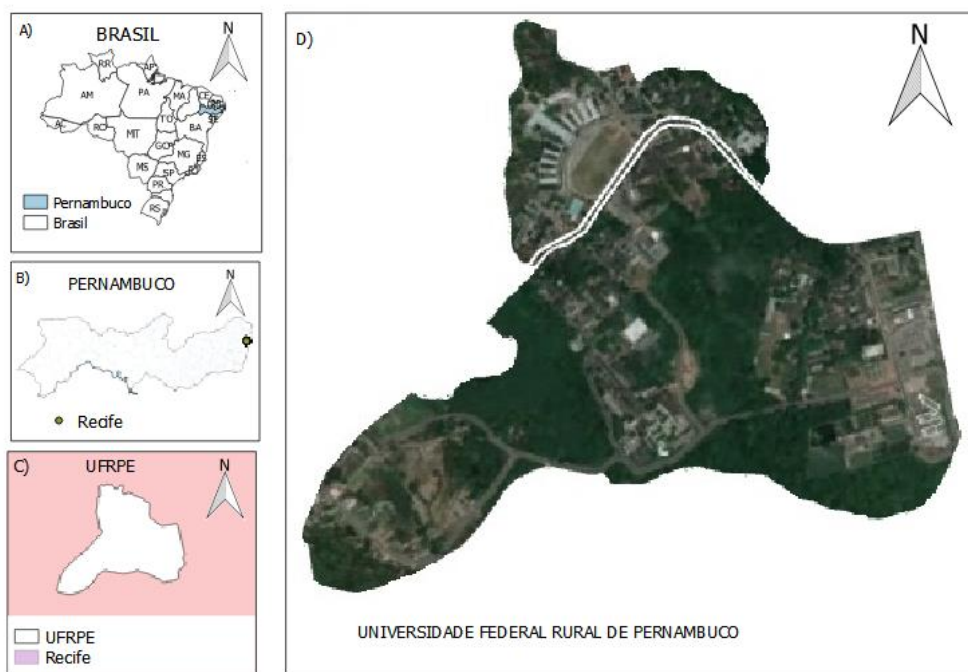
4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Área de Estudo

A área estudada é o Campus Sede da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), em Recife, no bairro de Dois Irmãos, onde também está localizado o Parque Estadual Dois Irmãos, que abriga o Zoológico do Recife e um dos maiores fragmentos de Mata Atlântica do estado de Pernambuco. O campus também possui fragmentos menores da vegetação deste bioma, mas conta também com espécies exóticas compondo a arborização das áreas de circulação dos estudantes e funcionários da universidade.

A UFRPE, Campus Sede é classificado como sendo um Imóvel de Proteção de Área Verde (IPAV), categoria criada pela Lei de Uso e Ocupação do solo da Cidade do Recife - LUOS (Lei municipal nº 16.176/1996). Sendo assim, é um patrimônio público e deve manter pelo menos 70% de sua vegetação preservada. A área ocupada pelo Campus da UFRPE Sede foi de cerca de 147 hectares, atualmente, devido a ocupações, residências, a área da universidade está bem menor, cerca de 77 hectares. As coordenadas da entrada principal são 284983.15 m E, 9113357.85 m S, UTM zona 25 S. A Figura 1 a seguir, representa o Campus Sede da UFRPE.

Figura 1 - Mapa de localização da Universidade Federal Rural de Pernambuco.



Fonte: o Autor.

4.2 Banco de Dados

Os dados *LiDAR* utilizados neste estudo foram disponibilizados pelo Programa Pernambuco Tridimensional (PE3D) inserido no Programa de Sustentabilidade Hídrica de Pernambuco (PSHPE), cujo objetivo foi o de realizar o mapeamento para todo o território do Estado de Pernambuco, tendo, dentre os seus serviços, o recobrimento aerofotogramétrico e perfilamento a laser. Para obtenção das nuvens de pontos, foi realizado um sobrevoo em uma aeronave BEM-810 C – Seneca II – Prefixo PT-RQA, em agosto de 2014, nas áreas com as características descritas conforme a Tabela 1. (OLIVEIRA, 2019).

Tabela 1 - Detalhes de aquisição dos dados LiDAR para o Estado de Pernambuco em 2014.

Atributo	Valores
Sistema LiDAR	ALS-50 LEICA
Altitude do voo (m)	3.068
Ângulo de abertura (°)	34,5
Frequência do Scanner (Kz; Hz)	36,8 Hz
Densidade de pulsos (pulses · m ⁻²)	0,5
Datum	Sirgas 2000

Fonte: Oliveira, 2019.

4.3 Metodologia

Com o software *FUSION* foram aplicadas funções sobre os dados *LiDAR* no formato “las” para a extração de informações necessárias para a análise dos dados, foram filtrados da nuvem de pontos *LiDAR* informações sobre a superfície do solo, com essa ação é possível obter dados do tipo *Digital Terrain Model* (DTM) e *Canopy Height Model* (CHM), em sequência tem-se por objetivo obter as informações dos dados normalizados sob os dados DTM e CHM, que é adquirida ao realizar a subtração entre eles. No passo seguinte foi possível gerar o modelo das copas, chamado *LiDAR-Derived Canopy Structure Metrics*.

Para execução dos passos citados são utilizadas funções do *FUSION*, as mesmas são descritas na Tabela 2.

Tabela 2 - Comandos utilizados no processamento dos dados no Fusion e suas respectivas funções.

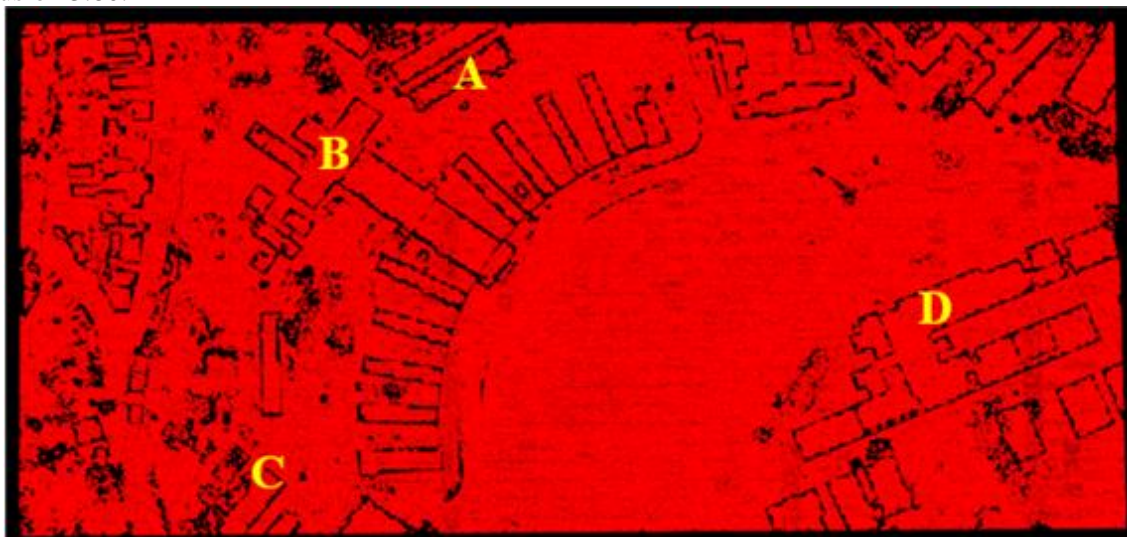
Comando	Ação
<i>Catalog</i>	Criação de reports descritivos sobre as características do conjunto de dados.
<i>GroundFilter</i>	Realiza um filtro na nuvem de retornos <i>LiDAR</i> para identificar os retornos que estão na provável superfície do solo (pontos de terra nua).
<i>DTM (GridSurfaceCreate)</i>	Cria um modelo de superfície quadriculada usando coleções de pontos aleatórios, dividindo a área de estudo em um grid regular.
<i>DSM (CanopyModel)</i>	Cria um modelo de superfície de cobertura usando uma nuvem de pontos <i>LiDAR</i> .
<i>LASHeight (ClipData)</i>	Cria sub-amostras de dados <i>LIDAR</i> para várias tarefas de análise. No entanto, neste caso, é usado para normalizar os dados <i>LiDAR</i> .
<i>CHM (CanopyModel)</i>	Cria um modelo de altura de dossel usando uma nuvem de pontos <i>LiDAR</i> .
<i>PolyClipData</i>	Realiza o corte de dados do ponto (LAS) usando polígonos armazenados em shapefiles ESRI - use-o para recortar as plotagens de amostra

Fonte: Gorgens, Da Silva e Rodriguez, 2014.

Os comandos são utilizados na sequência que foram dispostos na Tabela 2, cada comando irá retornar uma informação de entrada para uma função seguinte.

A função *GroundFilter* foi utilizado para diferenciação do solo e superfície, foi utilizado como parâmetros o valor 5 para o tamanho da célula em pixels. A Figura 2 refere-se a este processo em uma pequena área inserida no polígono da UFRPE.

Figura 2 - Visualização de recorte de área da UFRPE obtido por meio do *GroundFilter*, em ambiente Fusion 3.80.



Fonte: o Autor.

Na Figura 2 têm-se uma vista superior de parte do campus, onde, (A): É onde está o Prédio Professor Tarcísio Eurico Travassos, que faz parte do Departamento de Biologia da UFRPE; (B): Prédio Central, onde estão localizados, a Reitoria, o Restaurante Universitário,

laboratórios, salas de aula e auditórios que fazem parte dos Departamentos de Química e Biologia e o Salão Nobre, local onde são sediadas as aulas magnas, solenidades e abertura de eventos realizados na UFRPE; (C): Refere-se ao Centro de Ensino de Graduação das Exatas da Natureza, onde também funciona o Departamento de Matemática e (D): É onde está localizado o Departamento de Medicina Veterinária.

Como citado anteriormente, este comando filtra os pontos que estejam acima da superfície bem definida, exibindo apenas os pontos que estão na superfície ou a poucos centímetros acima dela.

A função *GridSurfaceCreate* possui como dado de entrada o arquivo gerado pelo *GroundFilter* e os demais parâmetros são os descritos na Tabela 3.

Tabela 3 - Parâmetros da função *GridSurfaceCreate*.

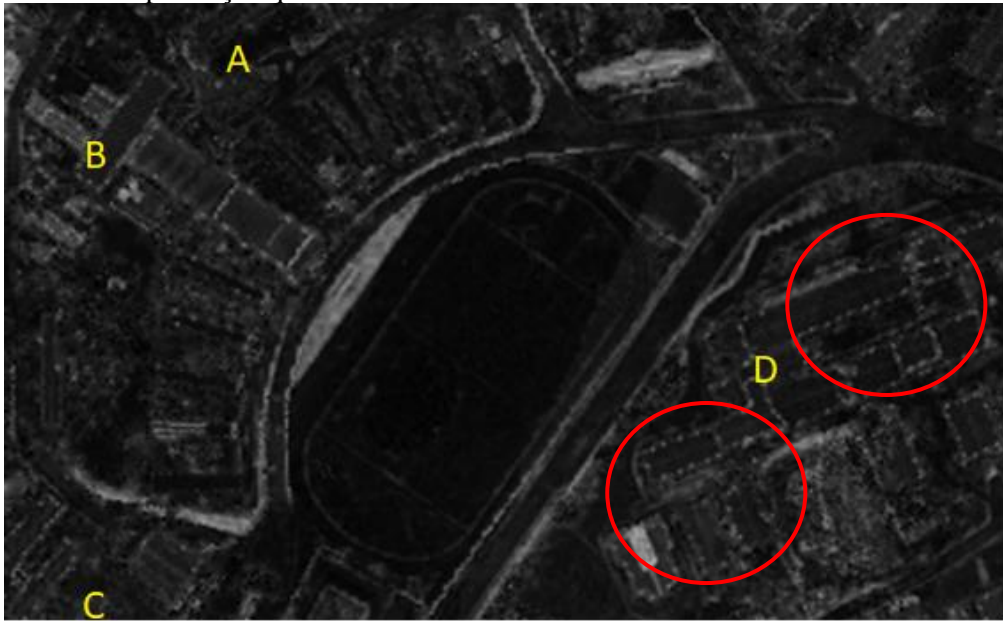
Parâmetro	Significado	Valor Utilizado
<i>cellsize</i>	Tamanho da célula em pixels para o grid regular a ser criado.	5 (células 5x5)
<i>xyunits</i>	Unidade de medida para coordenadas x e y.	M (metros)
<i>zunits</i>	Unidade de medida para coordenada z.	M (metros)
<i>coordsys</i>	Sistema de coordenadas	1 (UTM)
<i>zone</i>	Zona do sistema de coordenadas	25 (zona 25S)
<i>horizdatum</i>	Datum horizontal	0 (desconhecido)
<i>vertdatum</i>	Datum vertical	0 (desconhecido)

Fonte: Gorgens, Silva e Rodriguez, 2014.

Os parâmetros *horizdatum* e *vertdatum* no *Fusion* são sistemas de referência geodésico regional, o *Fusion* não suporta os sistemas utilizados no Brasil (SAD69, WGS84 e SIRGAS2000), então utilizou-se a opção 0 indicando um datum desconhecido. (GORGENS; SILVA; RODRIGUEZ, 2014).

Após a execução do comando *GridSurfaceCreate* foi gerado um arquivo *Digital Terrain Model* (DTM), neste foi aplicada a função *ClipData* para obter parcelas normalizadas sobre as elevações existentes, nesta função foi escolhida a área de interesse a ser aplicada a normalização, ou seja, parcelas que contêm os dados geográficos considerando a área de estudo, UFRPE.

Figura 3 - Visualização DTM de recorte de área da UFRPE com pontos indicação circular em vermelhos de exemplificação quadriculados.

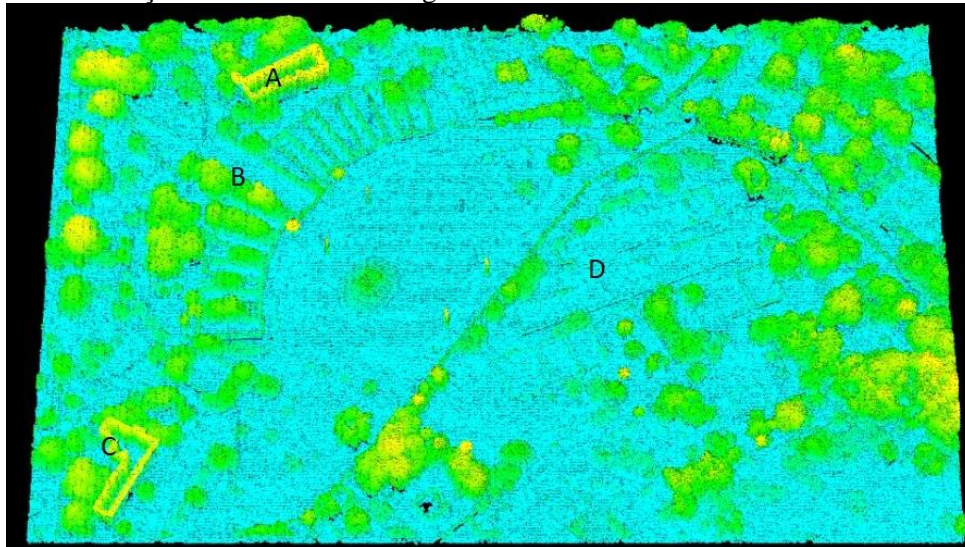


Fonte: o Autor.

Em seguida foi utilizada a função *CanopyModel* com os parâmetros de entradas conforme a Tabela 3 para interpolar os pontos de vegetação e gerar um *Digital Surface Model* (DSM).

O DSM foi gerado utilizando os pontos da superfície, então, o que se obtém, diferente dos exemplos anteriores é uma superfície irregular. No *Fusion* existe um histograma, onde se pode selecionar um gradiente de cores conforme a altura, a Figura 4 tem cores variadas conforme a distância do ponto até o solo. Gradiente de cores apresentado, onde a área em azul claro possui a mesma classe de altura, assim como as áreas em verde, amarelo e vermelho.

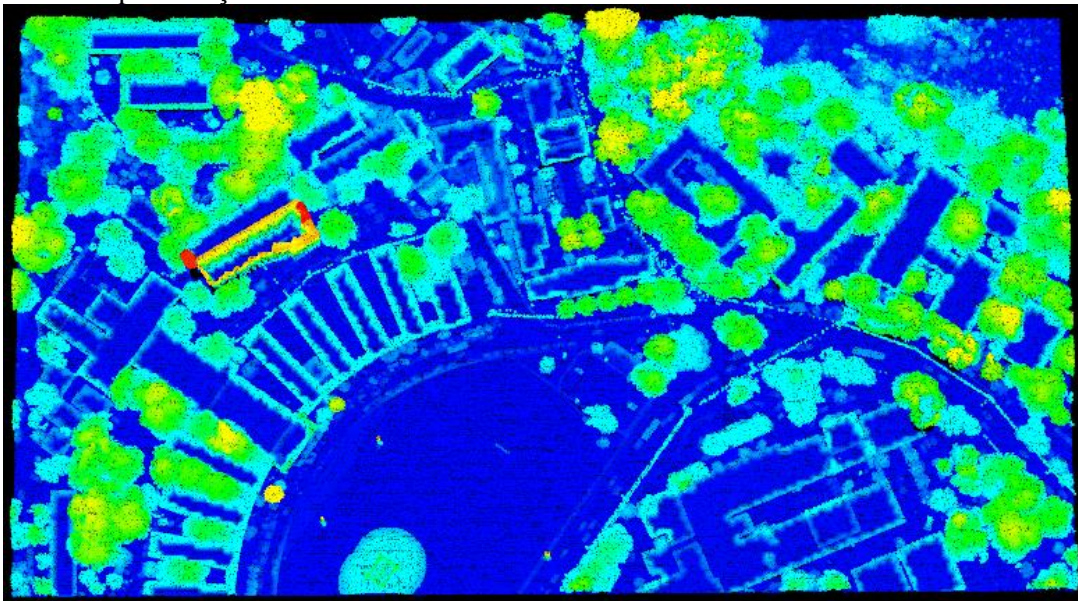
Figura 4 - Visualização do DSM de recorte gerado no Fusion.



Fonte: o Autor.

Após a realização dos procedimentos citados até aqui, foi utilizado o comando *LASHeight (ClipData)*, que resultou no arquivo .las normalizados em ambiente *Fusion* exibidos na Figura 5.

Figura 5 - Representação dos dados em recorte da área.

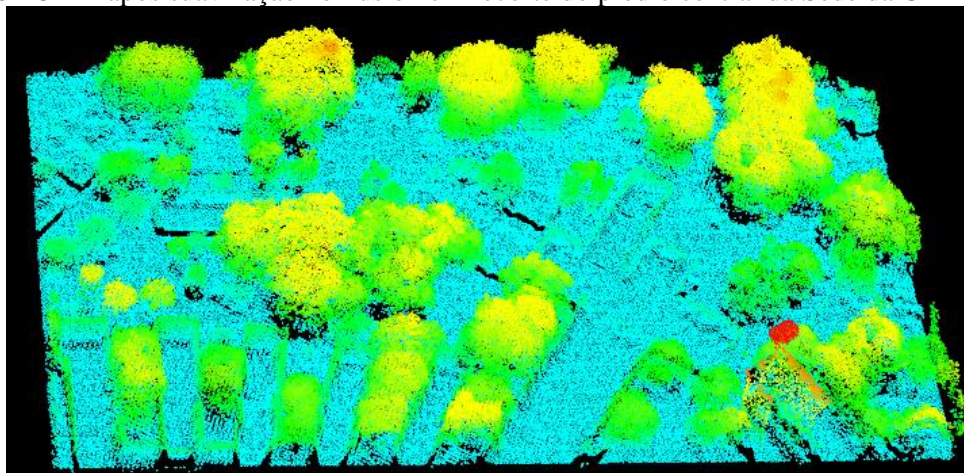


Fonte: o Autor.

Por fim foi com o comando *PolyClipData* foi realizada a geração de arquivo de modelo de altura do dossel, o *Canopy Height Model (CHM)*, que possui apenas as informações sobre a área de estudo. Todos os arquivos obtidos no pré-processamento poderão então ser utilizadas como dados de análise.

Ainda em ambiente Fusion, utilizou-se o CHM suavizado (*CanopyModel*), que resultou no arquivo com características semelhante à Figura 5, contudo, possuindo uma menor quantidade de pontos.

Figura 6 - CHM após suavização no Fusion em recorte do prédio central da Sede da UFRPE.



Fonte: o Autor.

Utilizando o software *RStudio*, foram executados comandos para extrair mais informações dos arquivos gerados no software *Fusion*, então, a princípio foram instalados os pacotes necessários para o processamento conforme detalhado na Tabela 4.

Tabela 4 - Pacotes do RStudio necessários para a análise dos arquivos gerados no Fusion.

Pacotes	Ação
raster	Pacote utilizado para importar métricas <i>LiDAR</i> rasterizadas (<i>Gridmetrics</i>)
rLiDAR	Pacote utilizado para processamento e visualização dos dados <i>LiDAR</i>
rgl	Pacote utilizado para a plotagem 3D
rgeos	Dependência do pacote <i>rLiDAR</i>
rgdal	Exportar arquivo <i>shapefile</i> - localização das árvores individuais

Fonte: RDocumentation, 2019.

Importou-se para o *RStudio* o arquivo CHM e dessa forma foi criado um arquivo com as informações dos indivíduos arbóreos detectados no formato *.csv*. Este arquivo possui colunas referentes às coordenadas x, y (posição) e uma terceira coluna referente à altura da árvore detectada.

A etapa posterior é a da suavização do produto final obtido no Fusion (CHM suavizado), por meio de uma função do pacote *rLiDAR*, denominada *CHMsmoothing*, a

mesma foi responsável por minimizar os efeitos de galhos e bifurcações das copas, a fim de evitar superestimação no número de indivíduos detectados, a janela de filtro para esta função, tem como padrão 5x5 pixels.

Posteriormente por meio da função *FindTreesCHM*, também do pacote *rLiDAR*, responsável por aplicar o algoritmo de máxima local como entrada para detectar e calcular a localização e a altura de árvores individuais dentro do modelo de altura de dossel derivado de *LiDAR* (CHM). Onde foram utilizadas como entrada desta função o filtro do padrão citado (5x5 *pixels*) e filtros móveis (3x3 e 7x7 *pixels*). Afim de comparar os resultados com uma contagem visual por meio manual e realizando cálculos estatísticos para verificar o nível de acerto do processamento.

O limite de altura mínimo para detectar as árvores foi de 3 metros para evitar a detecção de plantas menores ou pequenas edificações, os quais não fazem parte dos objetivos deste projeto.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com os dados obtidos pelo algoritmo de máxima local utilizando filtro 3x3, pode-se observar na Tabela 5 que estes não se mostraram tão eficientes quando comparados aos resultados obtidos utilizando os filtros 5x5 e 7x7, já que todos os resultados encontrados no filtro 3x3 tenderam a superestimar o número de indivíduos existente na área de estudo, gerando um maior erro. Tal resultado foi o oposto ao do filtro 7x7, que tendeu a subestimar os indivíduos da população. Embora o resultado obtido pelo filtro 5x5 também tenha superestimado o número de indivíduos, nota-se que os valores detectados por este filtro estão mais próximos da realidade, com menor erro.

Silva (2019), em análise dos erros na aplicabilidade destas janelas de filtro do trabalho de aplicação do LiDAR no inventário de florestas plantadas para contagem de árvores, verificou a influência do espaçamento do plantio no desempenho dos filtros.

Sendo no presente trabalho a utilização dos filtros justificada pela ausência de espaçamento definido, visto que não trata-se de uma área de plantio de espécie única, ainda assim os resultados quanto a eficiência dos filtros na contagem de árvores foi semelhante a trabalhos realizados em áreas de plantio com espaçamento definido. Zadoná et al. (2008), obteve um acerto médio de 82,8% e Silva (2019), chegou a um acerto de 98,85% sendo estes resultados considerados excelente.

Utilizando um recorte da área de estudo para comparação com a contagem visual de forma manual, os valores resultantes do presente trabalho para uma população de 262 árvores foram equivalentes a um erro de +585 árvores, +46 árvores e -80 árvores para os filtros 3x3, 5x5 e 7x7, respectivamente, conforme visto na Tabela 6.

Tabela 5 - Resultados obtidos pelos filtros em nº e porcentagem (%) de erro.

Janela de Filtro	Nº ind. (árvores)	Erro Est. (%)
3x3 pixels	6263	9,79
5x5 pixels	2356	9,56
7x7 pixels	1367	9,22

Fonte: o Autor.

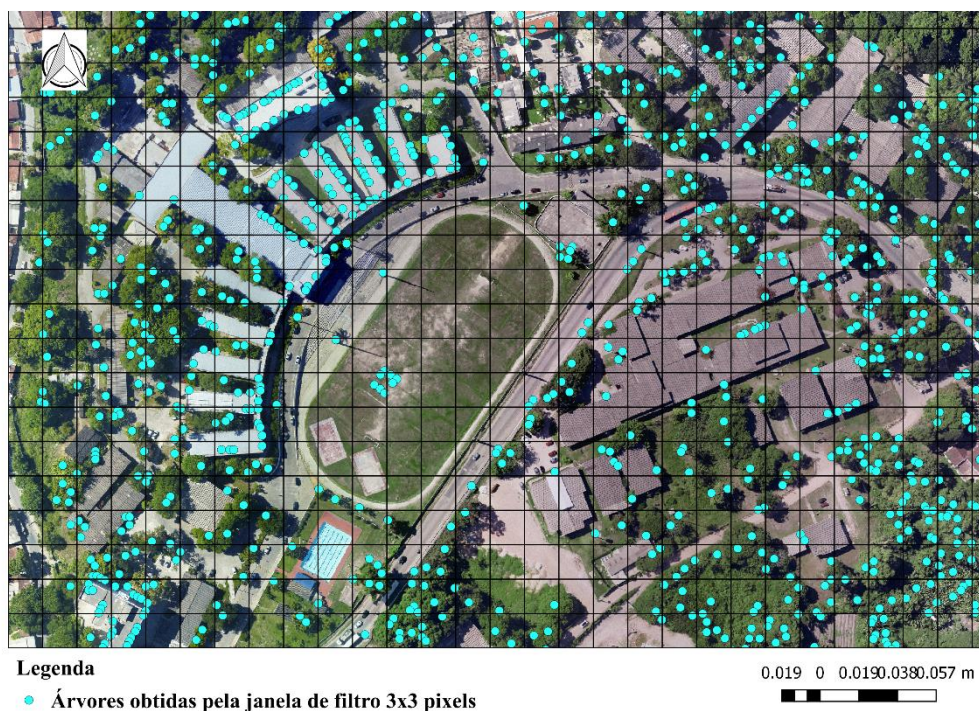
Tabela 6 – Dados obtidos pelos filtros e contagem manual em nº encontrado e nº de erro.

	Meio de contagem		
	3x3 pixels	5x5 pixels	7x7 pixels
Nº ind. (árvores)	847	308	182
Nº Ind. Contagem Manual		262	
Erro (nº árvores)	+ 585	+ 46	- 80

Fonte: o Autor.

Conforme as figuras 7, 8, 9 e 10 é possível visualizar um recorte da área com os dados de contagem por meio dos filtros e pela contagem visual por meio manual. Nas figuras estão destacados os indivíduos registrados nas contagens, tendo na figura referente ao filtro 3x3 um total de 847 árvores que podem ser observadas pela marcação de ponto na cor azul claro, na figura referente ao filtro 5x5 um total de 308 árvores que podem ser observadas pela marcação de ponto na cor vermelha, na figura referente ao filtro 7x7 um total de 182 árvores que podem ser observadas pela marcação de ponto na cor laranja e por fim, na figura referente a contagem manual um total de 262 árvores que podem ser observadas pela marcação de ponto na cor amarela.

Figura 7 - Recorte de área com demonstrativo de obtenção das árvores pelo filtro 3x3.



Fonte: o Autor.

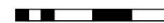
Figura 8 - Recorte de área com demonstrativo de obtenção das árvores pelo filtro 5x5.



Legenda

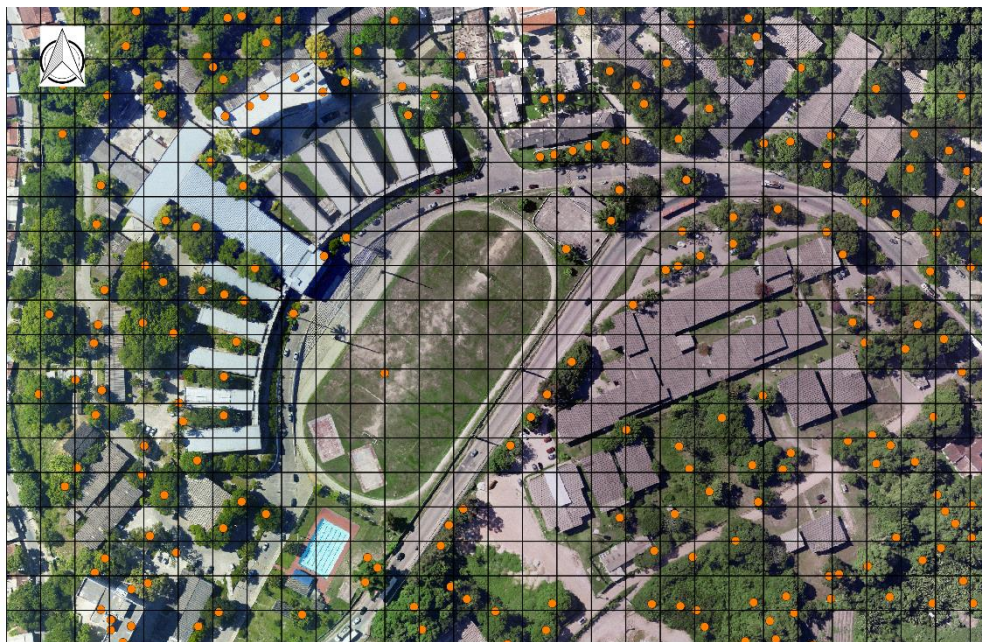
- Árvores obtidas pela janela de filtro 5x5 pixels

0.019 0 0.0190.0380.057 m



Fonte: o Autor.

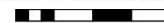
Figura 9 - Recorte de área com demonstrativo de obtenção das árvores pelo filtro 7x7.



Legenda

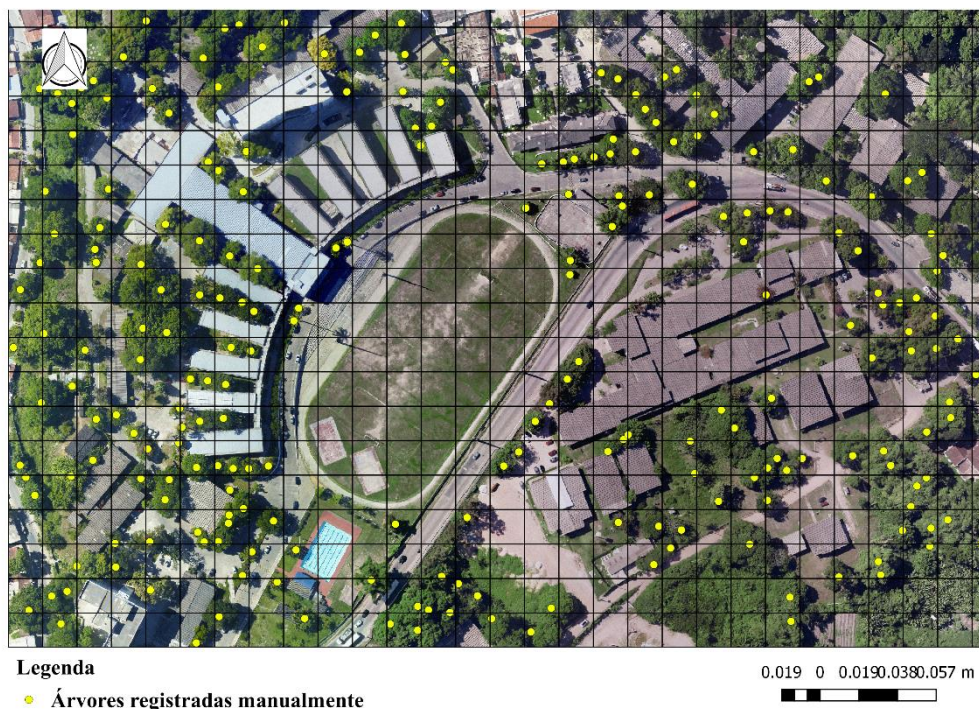
- Árvores obtidas pela janela de filtro 7x7 pixels

0.019 0 0.0190.0380.057 m



Fonte: o Autor.

Figura 10 - Recorte de área com demonstrativo de obtenção das árvores pela contagem manual.



Fonte: o Autor.

Lindberg e Hollaus (2012), ressaltam que, os tamanhos de filtro e condições para filtrar o CHM devem ser cuidadosamente testados e selecionados para diferentes tipos de floresta. A fim de obter resultados mais acurados sobre os tamanhos de janela e suavização.

Silva et al. (2017), afirma que a subestimativa pode estar relacionada com a grande densidade de árvores menores do que a opção de entrada. Considerando que o algoritmo de máximos locais apenas detecta os picos das árvores, supõe-se que árvores menores possam ser omitidas da detecção devido à sobreposição de copas.

A superestimava ocorreu com maior frequência em suavização de tamanho de janela 3 x 3. Nesta situação, é esperado que mais de um pico de uma única árvore foi detectado, uma vez que os ruídos não foram eliminados pela aplicação do algoritmo. Leminih et al. (2004), demonstraram que diferentes espécies dispõem de distintos desenvolvimentos de copa.

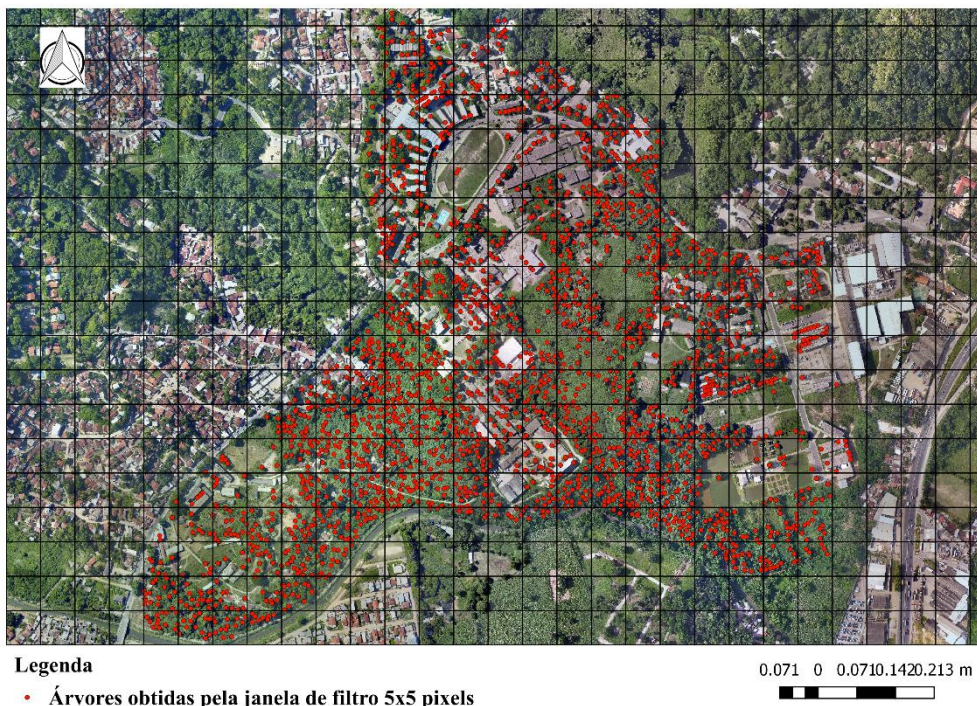
Assim, sugere-se que sejam feitos mais estudos sobre a detecção e a aquisição de métricas de árvores individuais. Considerando o presente trabalho, que estes sejam realizados em plantios ou florestas naturais com espécies que apresentem crescimento de copa semelhante.

Atualmente a aquisição de dados LiDAR, ainda seja cara, principalmente em áreas extensas. A obtenção de amostras de alta densidade, requerida para atingir precisão, demanda que o voo seja conduzido a baixa altitude, baixa velocidade de voo, menores ângulos de varredura e múltiplos voos (Lovell et al. 2005). O tempo de voo possui alto custo (Fournier et al. 2003). Ainda assim, estudos mostram que o Inventário Florestal com uso da tecnologia LiDAR é mais barato do que o convencional.

Means et al. (2000) comparam os custos de métodos tradicionais, em contraposição aos métodos LiDAR. O autor indica que em uma área de aproximadamente 80 ha, é factível reduzir os custos em US\$15.000,00 por ano. Ao estimar o tempo, a metodologia LiDAR reduz em torno de quatro semanas de trabalho.

Na Figura 7, referente à contagem obtida pelo filtro 5x5 que apresentou maior proximidade com a realidade é possível visualizar o campus da UFRPE e observar os locais onde tem maior concentração de árvores. Na parte inferior, lado direito, é visto que tem um maior agrupamento de pontos, este local fica próximo à Base de Pesca e entre o CEGOE, ou seja, é um dos fragmentos florestais mais utilizados pelos alunos e professores, uma vez que são encontradas diversas espécies da fauna e flora e que podem resultar em diversos estudos, trabalhos científicos, etc.

Figura 11 - Área total com as árvores obtidas pelo filtro 5x5.



Fonte: o Autor.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base no que foi visto durante o desenvolvimento do presente trabalho, percebe-se a problemática existente em alguns dos campos de atuação da engenharia florestal. A demanda crescente por produtos de origem silvicultural, sustentável e ecologicamente viável, cresce a necessidade de aumentar a produção, aprimorar a qualidade dos produtos, de forma, mais prática e eficiente.

A tecnologia *LiDAR* permitiu identificar árvores individuais na sede do campus da Universidade Federal Rural de Pernambuco de forma satisfatória, evidenciando o potencial da tecnologia para estudos em ambientes urbanos com uma rápida resposta de varredura.

Assim, confirma-se a importância da aplicação de geotecnologias no estudo e atividades do setor florestal, destacando-se aqui, o sensoriamento remoto como uma ferramenta que pode auxiliar em estudos no âmbito da engenharia florestal.

Recomenda-se em trabalhos futuros a realização de testes de qualidade referente aos verdadeiros positivos (VP) quando a árvore detectada é encontrada em campo e ampliando o tipo de análise utilizando diversos algoritmos de detecção individual das espécies.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACCIOLY, P. **O Uso de Banco de Dados e Geoferramentas Para a Gestão de Dados Oriundos de Unidades de Conservação da Natureza (Estudo De Caso)**. Dissertação de Mestrado. UFPR. Curitiba. 2006.

ALVAREZ, I. A. **A Silvicultura Urbana e as geotecnologias**. MundoGeo. s.l. 2013. Disponível em: <https://mundogeo.com/blog/2013/12/16/artigo-a-silvicultura-urbana-e-as-geotecnologias/> Acesso em: 03 de jun de 2019.

AMORIM, D. **Quantificação De Biomassa E Altura Das Árvores Em Uma Floresta De Mata Atlântica Em Belo Horizonte - Mg, Utilizando A Tecnologia Lidar**. Florianópolis, 2016.

BARBOSA, J. **Sensoriamento Aplicado ao Estudo do Ecossistema Manguezal em Pernambuco**. Tese de Doutorado. Tesis, p. 188, 2012.

BARBOSA, L. J. **Deteção e Extração de Vegetação Utilizando Dados LiDAR: Determinação de indivíduos e aglomerados**. Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas - UNESP. Presidente Prudente. 2017.

CANDIANI, D. F. et al. **Composição E Diversidade da Araneofauna (Araneae) de Serapilheira em Três Florestas Urbanas na Cidade de São Paulo, São Paulo, Brasil**. Biota Neotropica, v5 (n1a) - BN008051a2005

CASSOL, H. L. G. **Estimativa de Biomassa e Estoque de Carbono em um Fragmento de Floresta Ombrófila Mista Com uso de Dados Ópticos de Sensores Remotos**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2013.

CIELO FILHO, R.; SANTIN, D. A. **Estudo florístico e fitossociológico de um fragmento florestal urbano: Bosque dos Alemães, Campinas, SP**. Revista Brasileira de Botânica, v. 25, n. 3, p. 291–301, 2002.

COSTA, C. S. **Áreas Verdes: um elemento chave para a sustentabilidade urbana**. Vitruvius. 126.08ano 11, nov. 2010

DA FONSECA, C. R.; CARVALHO, F. A. **Aspectos Florísticos e Fitossociológicos da Comunidade Arbórea de um Fragmento Urbano de Floresta Atlântica (Juiz de Fora, MG, Brasil)**. Bioscience Journal, v. 28, n. 5, p. 820–832, 2012.

DACANAL, C.; LABAKI, L. C.; SILVA, T. M. L. DA. **Vamos passear na floresta! O conforto térmico em fragmentos florestais urbanos**. Ambiente Construído, v. 10, n. 2, p. 115–132, 2014.

DE SOUZA, C. C. et al. **Técnicas de sensoriamento remoto como subsídios aos estudos de florestas implantadas no Brasil - Uma revisão bibliográfica**. Ciencia Florestal, v. 17, n. 4, p. 409–417, 2007.

FILHO, P. C. O., SILVA, S. V. K. **Um Sistema de Informações Para Suporte Espacial e de Decisões à Gestão da Arborização Urbana no Município de Guarapuava, Paraná**. REVSBAU, Piracicaba – SP, v.5, n.3, p.82-96, 2010.

FOURNIER RA, LUTHER JE, GUINDON L, LAMBERT MC, PIERCY D, HALL RJ (2003). **Mapping aboveground tree biomass at the stand level from inventory information: Test cases in Newfoundland and Québec.** Canadian Journal of Forest Research, 33: 1846–1863

FREITAS, L. J. M. et al. **Análise Técnica e Estimativas de Custos de Inventário de Prospecção em uma Floresta Estacional Semidecidual Submontana.** R. Árvore, Viçosa-MG, v.29, n.1, p.65-75, 2005.

GEIGER, R. (1936). **Classificação climática de Köppen- Geiger.** Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported, 1–7. Retrieved from <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>

GIONGO, M., et al. **LiDAR: Princípios e Aplicações Florestais.** Pesquisa Florestal Brasileira, v. 30, n. 63, p. 231–244, 2010.

GORGENS, E. B., SILVA, A. G. P. da; RODRIGUEZ, L. C. E. **Lidar: aplicações florestais.** 2014.

HENTZ, Â. M. K. et al. **Técnicas De Sensoriamento Remoto Para Estimativa De Biomassa Em Ambientes Florestais.** Enciclopédia Biosfera, v. 10, n. 18, p. 2810, 2014.

JENSEN, J. R.; JOHN R, J. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma Perspectiva em Recursos Terrestres (Tradução da Segunda Edição).** p. 508, 2009.

LEMENIH M., GIDYELEW T., TEKETAY D. 2004. **Effects of canopy cover and understory environment of tree plantations on richness, density and size of colonizing woody species in southern Ethiopia.** Forest Ecology and Management, 194: 1–10.

LI, W. et al. **A New Method for Segmenting Individual Trees from the Lidar Point Cloud.** Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, v. 78, n. 1, p. 75–84, 2013.

LIMA, M. G. C., CORRÊA, A. C. B. **Apropriação de uma Unidade de Conservação de Mata Atlântica no Espaço Urbano de Recife - PE: O Caso da Reserva de Dois Irmãos.** Revista de Geografia. Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFPE. v. 22, n. 1. 2005.

LIMA, M. L. F. C. **A reserva da biosfera da mata atlântica em Pernambuco.** v. 12, p. 41, 1998.

LINDBERG E, HOLLAUS, M (2012). **Comparison of methods for estimation of stem volume, stem number and basal área from airborne laser scanning data in a hemiboreal forest.** Remote Sensing, 4(4): 1004–1023.

LOCKS, J. C. **Aplicações Da Tecnologia Lidar No Monitoramento Da Exploração Madeireira Em Áreas De Concessão Florestal.** Brasília, 2017. 97 p. Dissertação de Mestrado - Universidade de Brasília, 2017.

LOVELL JL, JUPP DLB, NEWNHAM GJ, COOPS NC, CULVENOR DS (2005). **Simulation study for finding optimal LiDAR acquisition parameters for forest height retrieval.** Forest Ecol. Manage., 214: 398–412.

MAGALHÃES, L. M. S. **Arborização e Florestas Urbanas - Terminologia Adotada para a Cobertura Arbórea das Cidades Brasileiras.** Floresta e Ambiente. p.23-26, Jan/2006

MENESES, P. R. ALMEIDA, T. **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto.** Brasília, 2012. 276 p.

MEANS JE, ACKER SA, FITT BJ, RENSLOW M, EMERSON L, HENDRIX CJ. 2000. **Predicting forest stand characteristics with airborne scanning lidar.** Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 66 (11): 1367-1371.

MELO, E. F. R. Q., ROMANINI, A. **A Gestão da Arborização Urbana na Cidade de Passo Fundo/RS.** REVISTA DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ARBORIZAÇÃO URBANA, Volume 2, Número 1, 2007.

MELO, L. L. S., MEUNIER, I. M. J. **Condições de Crescimento de Árvores em Calçadas de Cinco Bairros de Recife - PE Entre 1985 e 2014.** Anais V CONGRESSO NORDESTINO DE ENGENHARIA FLORESTAL. Bom Jesus, PI. 2016.

OLIVEIRA, L. T. D. E. **Aplicação Do Lidar No Inventário de Florestas Plantadas.** Tese Doutorado. Lavras - UFLA. 109 p. : il. 2011

OLIVEIRA, T. H. et al. Mensuração e Distribuição do Verde Urbano no Município do Recife – PE: Bases Para a Gestão Ambiental Urbana. **Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.** 13 a 18 de abril de 2013, INPE

RECIFE. **Lei Municipal nº 18.014, de 9 de maio de 2014. Institui o Sistema Municipal de Unidades Protegidas – SMUP Recife e dá outras providências.** Recife, PE. 9 de maio de 2014. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a1/pe/r/recife/lei-ordinaria/2014/1801/18014/lei-ordinaria-n-18014-2014-institui-o-sistema-municipal-de-unidades-protegidas-smup-recife-e-da-outras-providencias> Acesso em: 03 de jun de 2019.

RIBEIRO, E. A. W. **Cadernos de Biogeografia: técnicas de mensuração em espécie arbórea.** p. 23, 2011.

ROSSETTI, A. I. N., PELLEGRINO, P. R. M., TAVARES, A. R. **As Árvores e suas Interfaces no Ambiente Urbano.** REVSBAU, Piracicaba – SP, v.5, n.1, p.1-24, 2010. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revsbau/article/view/66231/38109> Acesso em: 03 de jun de 2019.

ROUSSEL, J.-R. et al. **Package “lidR”.** p. 82, 2018.

RYDBERG, D., FALCK, J. **Urban Forestry in Sweden From a Silvicultural Perspective: A Review.** Landscape an Urban Planning 47, 1 - 18. 2000.

SALLES, J. C.; SCHIAVINI, I. **Estrutura e composição do estrato de regeneração em um fragmento florestal urbano: implicações para a dinâmica e a conservação da comunidade arbórea.** Acta Botanica Brasilica, v. 21, n. 1, p. 223–233, 2007.

SHRESTHA, R.; WYNNE, R. H. **Estimating biophysical parameters of individual trees**

in an urban environment using small footprint discrete-return imaging Lidar. Remote Sensing, v. 4, n. 2, p. 484–508, 2012.

SILVA, C. A. et al. **A principal component approach for predicting the stem volume in Eucalyptus plantations in Brazil using airborne LiDAR data.** Forestry, v. 89, n. 4, p. 422–433, 2016.

SILVA, I. L. G. et al. **Detecção de árvores individuais em área florestal mista de coníferas por meio de dados LiDAR aerotransportando.** Advances in Forestry Science, v. 4, n. 2, p. 107–112, 2017.

SILVA, V. S. **Lidar-Derived Methods for Volume Estimation and Individual Tree Detection in Eucalyptus Spp. Plantations.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Recife, BR-PE. 84 f. 2019.

SOUZA, C. C. et al. **Técnicas de Sensoriamento Remoto Como Subsídios aos Estudos de Florestas Implantadas no Brasil – Uma Revisão Bibliográfica.** Ciência Florestal, Santa Maria, v. 17, n. 4, p. 409-417, out-dez, 2007.

SOUZA, U. B., SOUZA, S. F., SANTOS, C. A. P., AMARAL, A. G. **Uso do sensoriamento remoto na análise da dinâmica da paisagem em um período de 20 anos no anel da soja, Oeste da Bahia.** In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Anais. Curitiba: INPE, p. 3014, 2011.

WAN-MOHD-JAAFAR, W. S. et al. **Modelling individual tree aboveground biomass using discrete return Lidar in lowland Dipterocarp forest of Malaysia.** Journal of Tropical Forest Science, v. 29, n. 4, p. 465–484, 2017.

VIANA, S. M. **Percepção e quantificação das árvores na área urbana do município de São Carlos.** Tese Doutorado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. SP. p. 211, 2013.