

Trabalho de Formatura

Curso de Graduação em Engenharia Ambiental

**VARIABILIDADE ESPACIAL DO CRESCIMENTO DO EUCALIPTO
EM UM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA
PARCIALMENTE ATINGIDO POR INCÊNDIO**

Luana Selli

Orientador: Profa. Dra. Vania Silvia Rosolen

Coorientador: Dr. Alberto C. de Campos Bernardi

Rio Claro (SP)

2022

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Campus de Rio Claro

LUANA SELLI

**VARIABILIDADE ESPACIAL DO CRESCIMENTO DO
EUCALIPTO EM UM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO
LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA PARCIALMENTE
ATINGIDO POR INCÊNDIO**

Trabalho de Formatura apresentado ao Instituto
de Geociências e Ciências Exatas – Campus de
Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista
Júlio de Mesquita Filho, para obtenção do grau
de Engenheiro Ambiental.

Rio Claro – SP

2022

S467v	Selli, Luana Variabilidade espacial do crescimento do eucalipto em um sistema de integração lavoura-pecuária-floresta parcialmente atingido por incêndio / Luana Selli. -- Rio Claro, 2022 66 p. : tabs., fotos, mapas Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia Ambiental) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro Orientadora: Vania Silvia Rosolen Coorientador: Alberto Carlos de Campos Bernardi 1. Agricultura de precisão. 2. Incêndios florestais. 3. Processamento de dados. 4. Pastagens Manejo. 5. Eucalipto. I. Título.
-------	--

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de Geociências e Ciências Exatas,
Rio Claro. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

Aos meus pais, Ana e Fernando, por serem o
grande alicerce da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Ao meu pai e minha mãe, por me ensinarem três dos bens mais valiosos da vida, o amor, a gratidão e a generosidade.

À minha família, pela habilidade única de sempre tornar qualquer momento inesquecivelmente divertido.

Aos meus amigos, pelo apoio, carinho e por seguirmos sempre juntos rumo aos nossos objetivos.

À minha orientadora, Profa. Dra. Vania Silvia Rosolen, pela paciência, receptividade, atenção e assessoria acerca de tomadas de decisões cruciais para os rumos seguidos por mim na graduação.

Ao meu orientador, Dr. Aberto C. de Campos Bernardi, pela oportunidade, confiança, apoio e mentoria acerca de meus caminhos profissionais.

Ao pesquisador Dr. José Ricardo Macedo Pezzopane, por sempre estar presente e disposto a contribuir com a realização desse trabalho.

À colega Nicolle Laurenti, por ter me acolhido e me guiado desde o primeiro dia de trabalho.

A todos que, direta ou indiretamente, tornaram possível minha chegada até aqui, sejam professores, amigos ou colaboradores.

À Embrapa Pecuária Sudeste, pela oportunidade e disponibilização de recursos e acesso à área experimental para realização desta pesquisa.

LUANA SELLI

VARIABILIDADE ESPACIAL DO CRESCIMENTO DO
EUCALIPTO EM UM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-
PECUÁRIA-FLORESTA PARCIALMENTE
ATINGIDO POR INDÊNCIO

Trabalho de Formatura apresentado ao Instituto
de Geociências e Ciências Exatas – Campus de
Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista
Júlio de Mesquita Filho, para obtenção do grau
de Engenheiro Ambiental.

Comissão Examinadora

Prof^a. Dra. Vania Silvia Rosolen (orientadora)

Prof. Dr. José Ricardo Macedo Pezzopane

Prof^a. Dra. Sandra Aparecida Santos

Rio Claro, 13 de fevereiro de 2022



Luana Selli

(Aluna)



Vania Silvia Rosolen

(Orientadora)

RESUMO

O efeito do fogo em determinado ecossistema pode ser tanto positivo, quanto insignificante ou negativo. A resposta vai depender das características do ecossistema atingido. À vista disso, o presente trabalho tem por objetivo avaliar a variabilidade espacial do crescimento de árvores de eucalipto em um sistema de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) utilizando as ferramentas de geoprocessamento aplicadas à agricultura de precisão em área parcialmente atingida por fogo em julho de 2020. O estudo foi realizado em uma área de 12,86 ha que compreende o sistema ILPF Produção de Leite, na Embrapa Pecuária Sudeste, em São Carlos/SP. Foram realizadas medições da altura e diâmetro de parte das árvores que compõem o sistema, assim como calculado o volume médio de madeira de cada uma. Os dados coletados foram armazenados, tratados e interpolados em ambiente SIG. A altura das árvores variou de 5,7 a 14,5 m, o Diâmetro à Altura do Peito (DAP) variou de 6,5 a 20 cm, e o volume de 0,009 a 0,197 m³. Os dados levantados em 2021 foram comparados com dados de 2019 e 2020, criando-se um histórico de desenvolvimento da área em cenários pré e pós incêndio. Os resultados desse projeto evidenciaram os impactos que um incidente com fogo pode causar em um ecossistema controlado, e como as técnicas e ferramentas de geoprocessamento contribuem para dimensionar os efeitos dos danos causados pelo fogo acidental e facilitam a tomada de decisão no manejo de sistemas agropecuários.

Palavras-chave: Agricultura de precisão; Geoprocessamento; Interpolação IDW; Sistemas de produção integrados; ILPF.

ABSTRACT

The effect of the fire on a given ecosystem can be either positive, insignificant or negative, the answer will depend on the characteristics of the affected ecosystem. Because of that, the present work aims to evaluate the spatial variability of eucalyptus tree growth in a crop-livestock-forest integration system (ICLF) using geoprocessing tools applied to precision agriculture in an area partially affected by a fire in July 2020. The study was carried out in a 12.86-ha area that composes the ICLF Milk Production system at Embrapa Pecuária Sudeste, in São Carlos/SP. The height and diameter of the part of the trees present on the system were measured, along with that their average wood volume was calculated. The collected data was stored, processed and interpolated in a GIS environment. The tree height ranged from 5.7 to 14.5 m, the Diameter at Breast Height (DBH) ranged from 6.5 to 20 cm, and the volume from 0.009 to 0.197 m³. The data collected in 2021 were compared with the data collected in 2019 and 2020, creating a historic of development of the area in pre and post fire scenarios. The results of this project showed the impacts that a fire incident can cause on a controlled ecosystem, and how geoprocessing techniques and tools contribute to studies of spatial variability and facilitate decision-making in the management of agricultural systems.

Keywords: Precision agriculture; Geoprocessing; IDW; Integrated production systems; ICLF.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Mapa de Localização - Sistema ILPF Produção de Leite	24
Figura 2. Mapa de Subdivisões do sistema ILPF Leite – ABC.....	27
Figura 3. Imagens do incêndio na área do ILPF Leite.....	28
Figura 4. Exemplo do processo de utilização do hipsômetro.	29
Figura 5. Exemplo de organização dos dados de altura no Excel.	30
Figura 6. Exemplo de organização dos dados de DAP no Excel	33
Figura 7. Exemplo de organização de dados de campo em Excel para transferência em ambiente SIG.....	34
Figura 8. Camadas de entrada para a interpolação de dados de altura e DAP.	35
Figura 9. Exemplo do processo de interpolação de dados.....	36
Figura 10. Exemplo de relatório estatístico gerado pela ferramenta “r.report”, com dados de altura de 2019.	39
Figura 11. Organização em Excel de dados de altura do relatório estatístico de área gerados pela ferramenta "r.report" e cálculo percentual.....	40
Figura 12. Organização em Excel de dados de DAP do relatório estatístico de área gerados pela ferramenta "r.report" e cálculo percentual.....	41
Figura 13. Organização em Excel de dados de volume do relatório estatístico de área gerados pela ferramenta "r.report" e cálculo percentual.	42
Figura 14. Tabela percentual de área relativa aos dados de altura, DAP e volume das árvores de eucalipto.	42
Figura 15. Planilha de organização de quantidade de árvores do sistema ILPF Leite	44
Figura 16. Volume médio de madeira em cada uma das 5 classes do sistema ILPF Leite	44
Figura 17. Cotação do metro cúbico da madeira de eucalipto	45
Figura 18. Estimativa financeira e de volume para a venda de madeira para energia.....	47
Figura 19. Estimativa financeira e de volume para a venda de madeira para serraria	48
Figura 20. Mapa Comparativo de altura das árvores de eucalipto do sistema ILPF Leite.....	49
Figura 21. Mapa Comparativo de DAP das árvores de eucalipto do sistema ILPF Leite.....	51
Figura 22. Mapa Comparativo do volume das árvores de eucalipto do sistema ILPF Leite....	52
Figura 23. Mapa de Balanço Financeiro - Madeira para Energia.....	54
Figura 24. Mapa de Balanço Financeiro - Madeira para Serraria	56

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AP – Agricultura de Precisão

CAP – Circunferência à Altura do Peito

DAP – Diâmetro à Altura do Peito

FAO – Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura

GPS – Sistema de Posicionamento Global

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IEA – Instituto de Economia Agrícola

ILF – Integração Lavoura-Floresta

ILP – Integração Lavoura-Pecuária

ILPF – Integração Lavoura-Pecuária-Floresta

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IPF – Integração Pecuária-Floresta

IDW – Inverso Ponderado da Distância

SAFs – Sistemas Agroflorestais

SIG – Sistema de Informação Geográfica

URT – Unidade de Referência Tecnológica

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVOS	14
2.1. Objetivo geral	14
2.2. Objetivos específicos	14
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3.1 Sistemas agroflorestais	15
3.2 Sistema de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF).....	17
3.3 Agricultura de precisão	18
3.4 Sensoriamento remoto e geoprocessamento	20
3.5 Efeito do fogo na natureza	21
4. MATERIAL E METODOLOGIA	23
4.1 Caracterização da área de estudo.....	23
4.2 Coleta de dados	28
4.2.1 Altura das árvores de Eucalipto	28
4.2.2 DAP das árvores de Eucalipto	31
4.3 Processamento de dados	33
4.3.1 Interpolação de dados: altura e DAP	33
4.3.2 Interpolação de dados: volume	36
4.3.3 Cálculo de área e percentual por classe interpolada	37
4.4 Balanço financeiro e de volume	43
5. RESULTADOS	49
5.1 Evolução da altura das árvores do sistema ILPF Leite.....	49
5.2 Evolução do DAP das árvores do sistema ILPF Leite.....	50
5.3 Evolução do volume das árvores do sistema ILPF Leite.....	52
5.4 Balanço geral do efeito do fogo	53

6. CONCLUSÃO.....	58
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59

1. INTRODUÇÃO

Ao mesmo tempo em que, de forma geral, o ritmo do crescimento populacional no mundo está em constante declínio, a população mundial continua aumentando (SILVA, 2015) e, conseqüentemente, a demanda por alimentos, energia e demais produtos agrícolas é crescente.

Nesse contexto, os recursos naturais se encontram cada vez mais escassos. Como tentativa de suprir as crescentes demandas humanas, décadas de práticas agrícolas de monocultura e de expansões desenfreadas de áreas de pastagens provocaram elevada pressão sobre o meio ambiente, resultando em danos graves como erosão, perda de fertilidade dos solos, assoreamento dos cursos d'água, poluição do solo e da água e emissões de gases de efeito estufa (LAGE, 2017). A Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO, 2021) destaca que cerca de 33% do solo em nível global está moderado ou altamente degradado.

Diante desse contexto, a Agricultura de Precisão (AP) atrelada ao sistema de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) chega como uma estratégia que busca solucionar esse problema ao, simultaneamente, otimizar a produção agrícola, recuperar as áreas já degradadas e diminuir possíveis novos impactos ambientais provenientes da atividade agrária, em outras palavras, buscar o máximo rendimento das culturas com menor consumo de insumos possível e impacto ambiental mínimo (BALBINO et al., 2012). Para tanto, é preciso admitir que, quando se trata de sistemas agropecuários, a palavra uniformidade não existe, por isso, cada pequeno espaço de área deve ser tratado com singularidade e nunca com generalizações, e é justamente dessa necessidade que as geotecnologias se tornam aliadas fundamentais.

O sensoriamento remoto e o geoprocessamento, amparados por tecnologias avançadas de coleta de dados espaciais como satélites e drones, são as ferramentas que fomentam e dão vida ao ideal da Agricultura de Precisão. Segundo Filippini-Alba (2014), o sensoriamento remoto é uma ferramenta do geoprocessamento que possibilita o estudo de alvos terrestres (objetos, fenômenos, áreas) através da interação entre a radiação eletromagnética com a superfície. Tal tecnologia viabiliza diversas análises ambientais, sendo algumas delas aplicadas a agricultura de precisão. Os índices de vegetação que possibilitam estimar a produtividade de biomassa vegetal e os efeitos dos estresses bióticos (patógenos, insetos e plantas daninhas) e abióticos (deficiências hídricas e nutricionais) sobre um sistema de produção agrícola, e as técnicas de interpolação destacam-se como ferramentas metodológicas essenciais para esses estudos (BERNARDI, et al., 2014).

Dentre todas as práticas agrícolas que têm a capacidade de impactar o solo, o uso do fogo é uma das mais perigosas, principalmente devido a sua rápida capacidade de dispersão e dificuldade de controle. O uso do fogo na agricultura é uma tradição milenar em algumas regiões do Brasil, sendo uma prática forte na Amazônia, originadas nos tempos pré-colombianos, com os antepassados dos atuais indígenas, no entanto, na atualidade essa prática não é mais considerada sustentável, muito embora ainda seja utilizada como opção barata e rápida de limpeza e preparo do solo antes do plantio (ALVES & MODESTO JÚNIOR, 2020).

O fogo tem a capacidade de alterar, de forma direta ou indireta, os atributos físicos, químicos e biológicos do solo (REDIN et al., 2011; MUÑOZ-ROJAS et al., 2016). Os impactos causados por queimadas, em qualquer elemento da biota, dependem tanto das características do ecossistema atingido quanto do comportamento do próprio fogo, levando em conta sua velocidade, intensidade, calor liberado, distribuição e duração de temperaturas elevadas (MIRANDA & KLINK, 1996).

Perante o exposto, o que impulsionou a realização deste trabalho foi demonstrar como as geotecnologias podem ser uma solução promissora para facilitar tomadas de decisão e tornar sistemas agropecuários sustentáveis, em um cenário afetado por um incidente com fogo, visando dimensionar os reais impactos de um incêndio em um sistema ILPF.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

O presente trabalho tem por objetivo avaliar a variabilidade espacial do crescimento de plantas de eucalipto em um sistema de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), em um cenário pré e pós incêndio, utilizando as ferramentas de geoprocessamento aplicadas à agricultura de precisão.

2.2. Objetivos específicos

- Avaliar o efeito do fogo acidental sobre o crescimento de eucaliptos cultivados em sistema ILPF;
- Evidenciar a atuação das ferramentas de geoprocessamento no monitoramento e controle de sistemas agropecuários, no dimensionamento de danos e na tomada de decisões.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Sistemas agroflorestais

O crescimento populacional força um aumento da demanda por recursos básicos como alimentos, fibras, bioenergia e produtos florestais. Essa demanda traz consigo um grande desafio para a agricultura: produzir mais, com menor impacto ambiental. Ainda neste sentido, segundo conceito adotado pela Organização das Nações Unidas para Agricultura (FAO), “A agricultura sustentável é o manejo e conservação dos recursos naturais e a orientação de mudanças tecnológicas e institucionais que assegurem a satisfação das necessidades humanas para a presente e as futuras geração. É uma agricultura que conserva o solo, a água e os recursos genéticos animais, vegetais e micro-organismos, não degrada o meio ambiente, é tecnicamente apropriada, economicamente viável e socialmente aceitável”.

Atualmente, um segundo grande desafio para a agricultura é encontrar uma forma de não só contornar problemas decorrentes de décadas de práticas agrícolas de monocultivo e expansão de áreas de pastagem, como também evitar a criação e intensificação de novos problemas relacionados à elevada pressão que a atividade agrícola pode exercer sobre o ambiente, sendo os principais deles a erosão e perda de fertilidade dos solos, o assoreamento dos cursos d'água, a poluição do solo e da água e as emissões de gases de efeito estufa (BALBINO et al., 2011). Na necessidade da criação de soluções para tais problemas, os sistemas agroflorestais chegam como uma alternativa promissora para um uso mais sustentável do solo, sem precisar diminuir a produção, apenas diversificando renda.

É importante mencionar que o termo “sistemas agroflorestais (SAF's)” comumente aparece atrelado ao termo “agrossilvicultura”, isso porque alguns autores consideram os termos sinônimos, enquanto outros autores consideram a agrossilvicultura como a ciência que se ocupa de estudar o cultivo de árvores em conjunto com culturas agrícolas e criação de animais, enquanto os sistemas agroflorestais seriam resultantes da prática de estudo de agrossilvicultura. De qualquer forma, a agrossilvicultura ou os sistemas agroflorestais têm três componentes básicos: a árvore, as culturas agrícolas e os animais (YARED; BRIENZA JUNIOR & MARQUES, 1998), e promovem tanto benefícios econômicos como ecológicos.

Uma definição apresentada por Nair (1984) menciona que a agrossilvicultura “representa uma aproximação para o uso integrado da terra, envolvendo a mistura ou retenção deliberada de árvores ou outras espécies perenes lenhosas, como parte das atividades de produção agrícola e pecuária”. Já para MacDicken (1990) a agrossilvicultura é “um uso da terra que envolve a retenção deliberada, introdução ou mistura de árvores ou outras espécies perenes

lenhosas em campos de produção de cultivos/animais, de modo a se beneficiar dos resultados das interações ecológicas e econômicas".

A partir destas duas definições, Yared, Brienza, Junior e Marques (1998) procuraram elaborar uma definição única que unisse tanto o conceito generalizado do termo quanto seus objetivos, chegando à conclusão de que a “agrossilvicultura é um sistema de uso da terra que envolve a integração de árvores ou outras espécies perenes lenhosas com cultivos agrícolas e/ou pecuária, procurando obter como resultado dessa associação a racionalização e o melhor aproveitamento do uso dos recursos naturais envolvidos no sistema de produção”.

Antes de continuar, é fundamental citar e definir um terceiro termo, a consorciação. Pode-se dizer que todo sistema agroflorestal é um consórcio, mas nem toda consorciação é um sistema agroflorestal, isso porque um cultivo associado de milho e arroz, por exemplo, caracteriza uma consorciação, porém para ser considerado um sistema agroflorestal é preciso haver também um componente arbóreo ou outra planta lenhosa sempre presente na associação, mesmo que este não tenha o objetivo de produção, mas sim de proteção, por exemplo, ou ambos.

Para retomar, é interessante mencionar que os sistemas agroflorestais podem ser divididos em quatro tipos principais, como menciona Balbino (2011), pesquisador da Embrapa, sendo eles:

- Sistema Agropastoril ou Integração Lavoura-Pecuária (ILP): sistema de produção que integra o componente agrícola e pecuário em rotação, consórcio ou sucessão; na mesma área e em um mesmo ano agrícola ou por múltiplos anos.
- Sistema Silvopastoril ou Integração Pecuária-Floresta (IPF): sistema de produção que integra o componente pecuário e florestal, em consórcio.
- Sistema Silviagrícola ou Integração Lavoura-Floresta (ILF): Sistema de produção que integra o componente florestal e agrícola, pela consorciação de espécies arbóreas com cultivos agrícolas (anuais ou perenes).
- Sistema Agrossilvipastoril ou Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF): sistema de produção que integra os componentes agrícola, pecuário e florestal em rotação, consórcio ou sucessão, na mesma área. O componente “lavoura” restringe-se ou não à fase inicial de implantação do componente florestal.

Todos esses sistemas, independentemente do tipo, trazem diversas vantagens para o meio e para o produtor rural, como por exemplo a diversificação na produção e o aumento da renda familiar; a redução de custos de implantação e manutenção; a melhoria na estrutura e fertilidade do solo devido à presença de árvores que atuam na ciclagem de nutrientes; a redução da erosão

laminar e em sulcos; o aumento da diversidade de espécies; a maior produção de biomassa por unidade de área (uso mais eficiente da terra; produção diversificada e durante todo o ano); e a recuperação de áreas degradadas. Por outro lado, os sistemas também podem apresentar algumas desvantagens, como a competição entre os componentes por radiação, nutrientes e água; danos causados aos demais componentes pela exploração das árvores; e a dificuldade da mecanização das atividades (MEDINA, 2018).

Dessa forma, a integração da floresta com as culturas agrícolas e com a pecuária oferece uma alternativa para enfrentar os problemas crônicos de degradação ambiental generalizada e ainda reduz o risco de perda de produção, tudo isso enquanto, na grande maioria das vezes, as árvores podem servir como fonte de renda uma vez que a madeira e os frutos podem ser explorados e vendidos. É justamente a combinação de todos esses fatores que encaixam as agroflorestas no modelo de agricultura sustentável (CIF, 2008).

3.2 Sistema de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF)

Diante de um cenário de demanda por recursos em contraposição à necessidade de redução de desmatamento, mitigação da emissão de gases do efeito estufa, e urgência por produção sustentável, os Sistema de Integração surgem como alternativa viável de produção por incentivarem o desenvolvimento socioeconômico sem comprometer a sustentabilidade dos recursos naturais.

Como explicado anteriormente, existem quatro tipos principais de sistemas de integração, o sistema ILP, que combina cultivos agrícolas com animais. O sistema IPF, que combina espécies arbóreas com animais. O sistema ILF, que combina espécies arbóreas com cultivos agrícolas e, por fim, o sistema ILPF, que combina espécies arbóreas com cultivos agrícolas e animais e que será o foco de estudo do presente trabalho.

O Sistema Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), ao integrar sistemas de produção de alimentos, fibras, energia e produtos madeireiros e não madeireiros, em rotação, consórcio ou sucessão, numa mesma área, otimiza os ciclos biológicos de plantas e animais, possibilitando assim que o solo seja explorado economicamente durante todo o ano, sem degradar o meio, favorecendo dessa forma a economia de uma maneira considerada sustentável (BALBINO et al., 2011).

Ainda assim, assim como qualquer sistema de plantio, o ILPF possui vantagens e desvantagens. As vantagens podem ser divididas em biológicas, físicas e ambientais, assim como em econômicas e sociais (VALERI; POLITANO; SENO; BARRETO, 2003). As vantagens biológicas, físicas e ambientais são representadas pela melhoria da estrutura física,

química e microbiota do solo, controle da erosão e aumento da produtividade, entre outras (MACEDO, 2000). Já as vantagens econômicas e sociais são aquelas que afetam diretamente a vida do agricultor, como aumento da sua renda e sua frequência ao longo do ano, melhoria na sua alimentação, maior variedade de produtos e serviços, emprego fixo durante o ano e manutenção desse agricultor e de sua família no campo. E como desvantagens pode-se apontar o aumento na competição entre as espécies vegetais; danos mecânicos durante a colheita ou tratos culturais sobre alguns componentes; dificuldade de introduzir o maquinário na área quando não há distribuição organizada e planejada da espécie arbórea; danos promovidos pelos animais, devido ao pisoteio; compactação do solo e raleamento ou perda total da vegetação; e permanência de componentes no sistema que podem servir como habitat ou hospedeiros para pragas e doenças. (OLIVEIRA et al., 2010).

Ou seja, de forma resumida, para definir a importância e os objetivos do sistema, Balbino et al. (2011) coloca que o “ILPF se apresenta como uma estratégia para maximizar efeitos desejáveis no ambiente, aliando o aumento da produtividade com a conservação de recursos”, sendo ele então uma alternativa economicamente viável, ambientalmente correta e socialmente justa para o aumento da produção de alimentos seguros, permitindo a diversificação de atividades na propriedade, a redução dos riscos climáticos e de mercado, a melhoria da renda e da qualidade de vida no campo, colaborando para a mitigação do desmatamento, para a redução da erosão, para a diminuição da emissão de gases de efeito estufa, enfim, possibilitando a produção sustentável (CUNHA, 2012).

3.3 Agricultura de precisão

A agricultura tem passado por inúmeras transformações, tornando-se uma atividade que requer cada vez mais o gerenciamento de seus processos produtivos. Para garantir a otimização da produção e prevenir o desperdício de recursos, o produtor rural precisa do máximo de eficiência possível em todos seus processos agrícolas, para isso, a obtenção de informações precisas sobre os fatores que afetam direta e indiretamente a lavoura são cruciais para assegurar o sucesso da atividade. É justamente nessa necessidade que a Agricultura de Precisão se apresenta como alternativa.

Segundo a definição de Pierce & Nowak (1999), “a agricultura de precisão (AP) consiste em um conjunto de princípios e tecnologias aplicados no manejo da variabilidade espacial e temporal associada à produção agrícola, objetivando aumentar a produtividade das culturas e a qualidade ambiental”. Em outras palavras, a AP implica na obtenção e processamento de informações detalhadas e georreferenciadas sobre áreas de cultivo agrícola, sempre levando em

conta o fato de que cada pedaço de terra pode possuir propriedades diferentes, com o grande objetivo de definir estratégias de manejo mais eficientes, em especial, o uso racional de insumos (RESENDE et al., 2010).

Pode-se dizer que o sistema de agricultura de precisão segue um certo padrão com relação as suas principais etapas de aplicação, dessa forma, a sequência de atividades pode ser resumida em:

- A. Coleta de dados;
- B. Gerenciamento da informação;
- C. Aplicação de insumos a taxa variada;
- D. Avaliação econômica e ambiental dos resultados.

Coletar dados significa quantificar a variabilidade existente e identificar sua localização no campo, tanto na produtividade dos cultivos como nos fatores que influenciam na produção. Os dados obtidos são processados e plotados em mapas (MOLIN, 2002). A partir daí, buscam-se as relações de causa e efeito entre a produção e os fatores, propõem-se estratégias de gerenciamento e faz-se a aplicação localizada dos insumos e das práticas, visando à correção das anormalidades verificadas (COELHO, 2005; BARBIERI et al., 2008).

Dessa forma, a Agricultura de Precisão tem vantagens sobre a Agricultura Convencional uma vez que, nessa segunda, os fertilizantes e insumos são aplicados homogeneamente em toda a área, com base em uma amostragem média para talhões ou até para toda a fazenda. Já com a agricultura de precisão há diversas informações que auxiliam na tomada de decisão, permitindo aplicar somente o necessário em cada porção da propriedade. Isso gera vários benefícios como: mais segurança na tomada de decisão; economia de insumos; visualização detalhada da propriedade; economia financeira; economia de recursos; melhoria das atividades agrícolas; e maior controle da propriedade (MENDES, 2018).

Para atingir o resultado esperado, muitos levantamentos diferentes podem ser realizados a partir do foco da pesquisa e da escolha de dados. Dentre os levantamentos de informação e mapeamentos que podem ser gerados pode-se citar os mapas de infestação de insetos para pulverização; mapas de irrigação; mapas de solo para aplicação de fertilizantes; estimativa de produtividade; semeadura a taxa variável; quantificação de biomassa das lavouras; levantamento de áreas degradadas; mapas de termografia da superfície; criação de unidades de gestão diferenciadas, entre outros.

3.4 Sensoriamento remoto e geoprocessamento

As necessidades de monitoramento e a avaliação dos recursos do solo e culturas, trazidas com a Agricultura de Precisão, demandaram o surgimento de novas tecnologias ou aprimoramento das já existentes em função da qualidade da informação produzida. Nesse ponto, os drones e satélites foram utilizados para captar imagens, e o sensoriamento remoto e o geoprocessamento são as ferramentas para tratar e transformar todas essas informações captadas.

Lillesand & Kiefer (2015) definem o sensoriamento remoto como “a ciência e a arte de obter informações sobre um objeto (alvo), área ou fenômeno.”, Rees (2013) ainda complementa dizendo que “essa obtenção de informações acontece sem contato físico direto com o alvo”. Segundo o IBGE (2021) essas informações podem ser obtidas por meio de radiação eletromagnética, gerada por fontes naturais (sensor passivo), como o Sol, ou por fontes artificiais (sensor ativo), como o radar. O mesmo Instituto ainda explica que os satélites, orbitando em torno da Terra, levam consigo um sensor capaz de emitir e/ou receber energia eletromagnética refletida na Terra, e as imagens orbitais captadas possibilitam muitas aplicações, como o mapeamento e a atualização de dados cartográficos e temáticos, a produção de dados meteorológicos e a avaliação de impactos ambientais.

JENSEN (1986) coloca o sensoriamento remoto como uma técnica que apresenta diversas vantagens, sendo as principais delas a coleta de dados não destrutiva; a cobertura de vastas áreas geográficas contrastando com observações isoladas pontuais; a disponibilidade em locais acidentados, de difícil acesso ou virgens; o ajuste de erros por meio da avaliação de séries históricas de imagens; e o caráter multidisciplinar da informação produzida. O autor ainda menciona que imagens hiper espectrais e multiespectrais têm sido utilizadas como forma de apoio a operações de mapeamento de estresse vegetal, aplicação de fertilizantes e pesticidas, manejo de irrigação e monitoramento do conteúdo de nutrientes para grãos e diversas frutas.

O geoprocessamento, por sua vez, é um conjunto de técnicas, métodos e ferramentas que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica, influenciando e proporcionando a análise de recursos naturais, o transporte, as comunicações, energia, o planejamento urbano, agricultura, entre outros aspectos (IBRAHIN, 2014). Em outras palavras, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2006) define geoprocessamento como um “conjunto de tecnologias voltadas a coleta e tratamento de informações espaciais para um objetivo específico, de forma que as atividades são executadas por sistemas específicos chamados de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), que recebem

e processam dados georreferenciados e retornam saídas na forma de mapas, relatórios, arquivos digitais etc.”

Para entender a relação entre os três termos, o SIG e o Sensoriamento Remoto são geotecnologias que estão incluídas no conceito de Geoprocessamento, uma vez que o Sensoriamento visa a obtenção de imagens da superfície terrestre, e o SIG é o conjunto de procedimentos que armazena e manipula essas imagens e dados (SALMONA, 2018).

Dessa forma, como CAMPOS (2004) diz, “o sensoriamento remoto e o geoprocessamento constituem-se em técnicas fundamentais para a manutenção de registros do uso da terra ao longo do tempo. As imagens de satélite, em forma digital ou papel, são muito importantes e úteis, pois permitem avaliar as mudanças ocorridas na paisagem de uma região e num dado período, registrando a cobertura vegetal em cada momento”. Nesse sentido, a Agricultura de Precisão, hoje, é considerada por grande parte dos especialistas em informação e sensoriamento como um sistema de gestão da produção agrícola, onde são definidas e aplicadas tecnologias e procedimentos visando otimizar os sistemas agrícolas, com enfoque no manejo das diferenças produtivas e dos fatores envolvidos na produção.

3.5 Efeito do fogo na natureza

Os incêndios são um dos principais fatores de redução e danos às florestas do mundo (GOLDAMMER, 1999; COCHRANE, 2003), no entanto, as reais consequências das queimadas dependem das características do ecossistema atingido por ele. O fogo é característica comum do cerrado, por exemplo, como também da maioria dos ecossistemas de savana, sendo considerado por muitos pesquisadores um dos fatores determinantes para a manutenção da vegetação do bioma (MIRANDA, 2002). Por outro lado, até recentemente, trabalhos sobre o impacto de incêndios em florestas tropicais eram raros devido à sua baixa recorrência natural, tendo suas consequências ainda não muito bem compreendidas (COCHRANE, 2003).

O fogo altera, de forma direta ou indireta, os atributos físicos, químicos e biológicos do solo (REDIN et al., 2011; MUÑOZ-ROJAS et al., 2016). Os impactos causados por queimadas, em qualquer elemento da biota, dependem tanto das características do ecossistema atingido, como composição vegetal, umidade, topografia, clima, entre outros, quanto do comportamento do próprio fogo, levando em conta sua velocidade, intensidade, calor liberado, distribuição e duração de temperaturas elevadas (MIRANDA & KLINK, 1996).

A resposta fisiológica das plantas ao fogo pode sofrer variação dentro de diferentes áreas de uma mesma queimada, isto se dá em função da associação de diversos fatores, como do

regime do fogo, mencionado anteriormente, e das características de cada planta, levando em conta a espécie, seu vigor e idade (COSTA & RODRIGUES, 2015).

Está claro que os impactos causados por incêndios variam de acordo com o ecossistema, no entanto, o uso indiscriminado do fogo em áreas de vegetação pode ser enquadrado como crime florestal (CABRAL et al., 2013). O primeiro Código Florestal Brasileiro, de 1934 (Decreto nº 23.793/34), proibiu o uso do fogo em qualquer tipo de vegetação, além da proibição da soltura de balões, sendo estes considerados crimes florestais em seu artigo 83º (BRASIL, 1934). Já em 1965, foi instituído o Novo Código Florestal (Lei nº 4.771), em que o uso do fogo continuou sendo proibido nas florestas e demais formas de vegetação, porém com a exceção em situações específicas, como práticas agropastoris e florestais justificadas, mediante autorização e orientação do Poder Público, conforme estabelecido em seu artigo 27º (BRASIL, 1965). O atual Código Florestal (Lei nº 12.651/ 2012) manteve a proibição do uso do fogo na vegetação com exceções justificáveis em sistemas agropastoris e florestais, incluindo, no entanto, Unidades de Conservação dentro da categoria de exceções para uso de Queima Controlada, conforme descrito em seu artigo 38º (BRASIL, 2012).

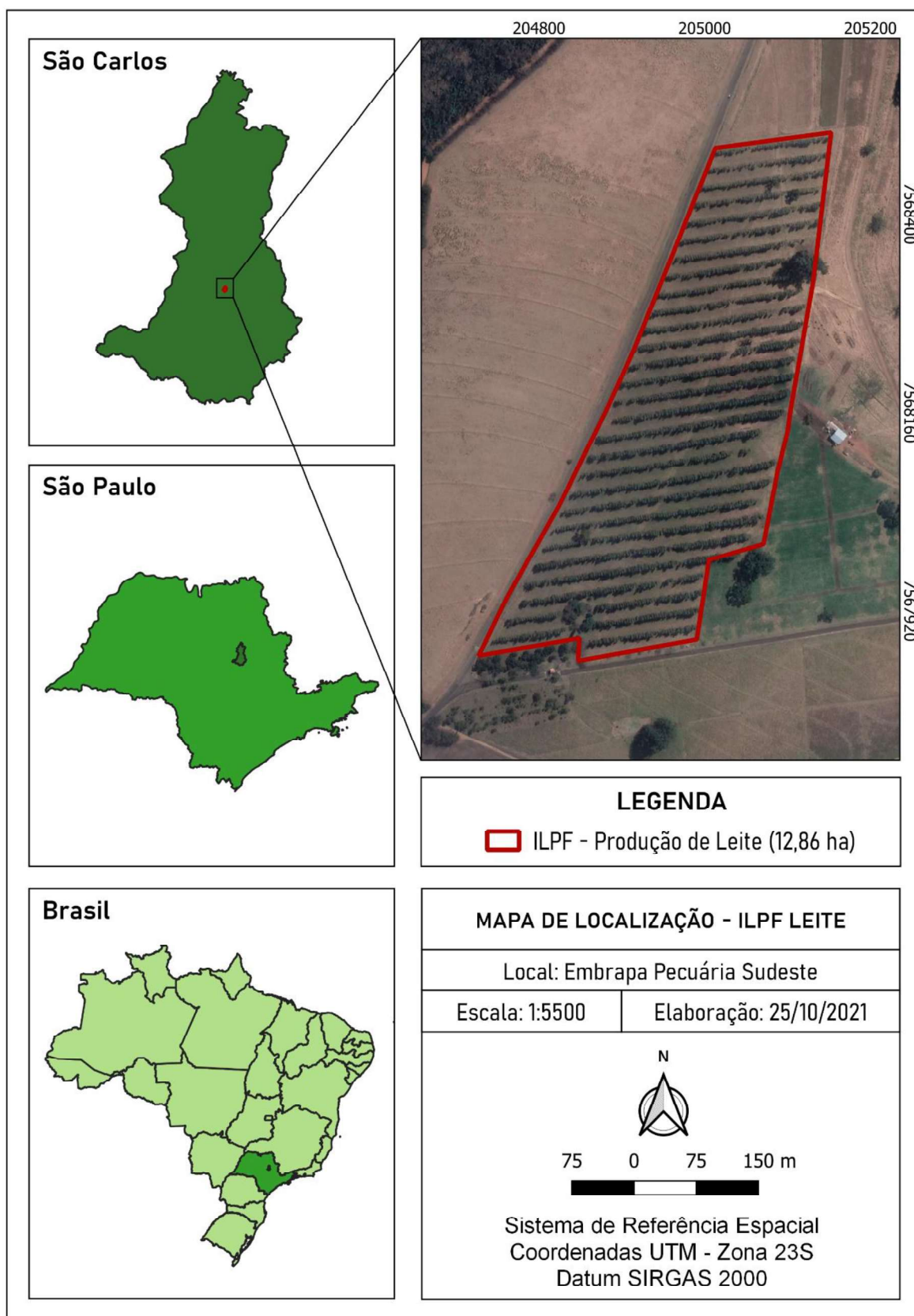
Em resumo, ambientalmente falando, as queimadas trazem consigo múltiplos problemas, como a poluição do ar, intensificação do efeito estufa, efeito direto sobre a fauna e a flora, alteração do solo, mudanças no regime hidrológico, efeitos na produtividade agrícola, assim como efeitos socioambientais relacionados à saúde humana (CABRAL et al., 2013), por isso, o uso do fogo como ferramenta agrícola ou de limpeza de terreno deve ser estritamente controlado.

4. MATERIAL E METODOLOGIA

4.1 Caracterização da área de estudo

O presente estudo foi desenvolvido na Unidade de Referência Tecnológica (URT) “Integração Lavoura-Pecuária-Floresta para produção de leite de baixo carbono (ILPF Leite)” (Figura 1). Esta área implantada em 2017 totaliza, atualmente, 12,86 ha de Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico textura média/argilosa (CALDERANO FILHO et al., 1998). A área experimental em questão pertence à Embrapa Pecuária Sudeste, localizada em São Carlos/SP nas coordenadas 21°58'04,99"S e 47°51'05,44"O, estando à 880 m de altitude. Segundo a classificação de Köppen (ROLIM et al., 2007), o clima da região é do tipo Tropical de Altitude (Cwa), apresentando precipitação média anual de 1.548 mm e temperatura média anual de 20,5°C.

Figura 1. Mapa de Localização - Sistema ILPF Produção de Leite



Fonte: Produzido pelo autor (2021)

A área experimental representada no mapa acima (Figura 1), é composta por 29 linhas de árvores, subdivididas em dois sistemas de produção distintos, sendo um sistema silvipastoril (IPF) e um sistema agrossilvipastoril (ILPF).

O sistema IPF (Integração Pecuária-Floresta) situa-se na região norte da área experimental e ocupa um terreno de 6,50 ha, espaço esse composto pelo cultivo de eucalipto Citrodora (*Corymbia citriodora* (Hook.) K.D. Hill & L.A.S. Johnson) em linhas simples, com espaçamento de 20 - 25 metros entre linhas e 3 metros entre plantas, consorciado com Capim-Paiaguás (*Urochloa brizantha* cv.). Já o sistema ILPF (Integração Lavoura-Pecuária-Floresta) situa-se na região sul da área experimental e ocupa um terreno de 6,36 ha, espaço esse composto, no primeiro ano de cultivo, apenas por Eucalipto (*Corymbia citriodora*) e, no segundo ano de cultivo, por Eucalipto Citrodora (*Corymbia citriodora*) consorciado com milho (*Zea mays*) para silagem e Capim-Paiaguás (*Urochloa brizantha* cv.) para produção de silagem de capim nos seguintes anos de cultivo (BERNARDI et al., 2019; PEZZOPANE et al., 2019).

A Tabela 1 apresenta um breve resumo das características de cada um dos dois sistemas citados, que juntos compõem o sistema ILPF Leite.

Tabela 1. Características de Plantio do Sistema ILPF Leite

Sistema	Tipo	Área	Plantio	Espaçamento Entre Linhas	Espaçamento Entre Árvores	Culturas
IPF	Silvipastoril	6,50 ha	Linha Simples	20 – 25 m	3 m	Eucalipto + Capim
ILPF	Agrossilvipastoril	6,36 ha	Linha Simples	20 – 25 m	3 m	Eucalipto + Milho + Capim

Fonte: Produzido pelo autor (2021)

No dia 28 de julho de 2020, um incêndio acidental de grandes proporções atingiu parte da URT - ILPF Produção de Leite da Embrapa Pecuária Sudeste, com chamas que chegaram a até 20 metros de altura. Apesar de forte, a atuação do fogo foi relativamente rápida e passageira, assim que controlado, verificou-se que a área sul do sistema não foi afetada, porém a área Norte do sistema (IPF) foi duramente afetada, acarretando a queima de 4,26 ha de terra, o equivalente a 33,13% da área total do sistema ILPF Leite, e 65,54% da área IPF (Norte). A fileira de árvores

número 17 foi parcialmente afetada pelo fogo, enquanto as fileiras 18 a 29 foram completamente atingidas.

Com o intuito de estimar o real impacto que o incêndio gerou na região, a área de estudos foi fragmentada em três subdivisões, sendo elas:

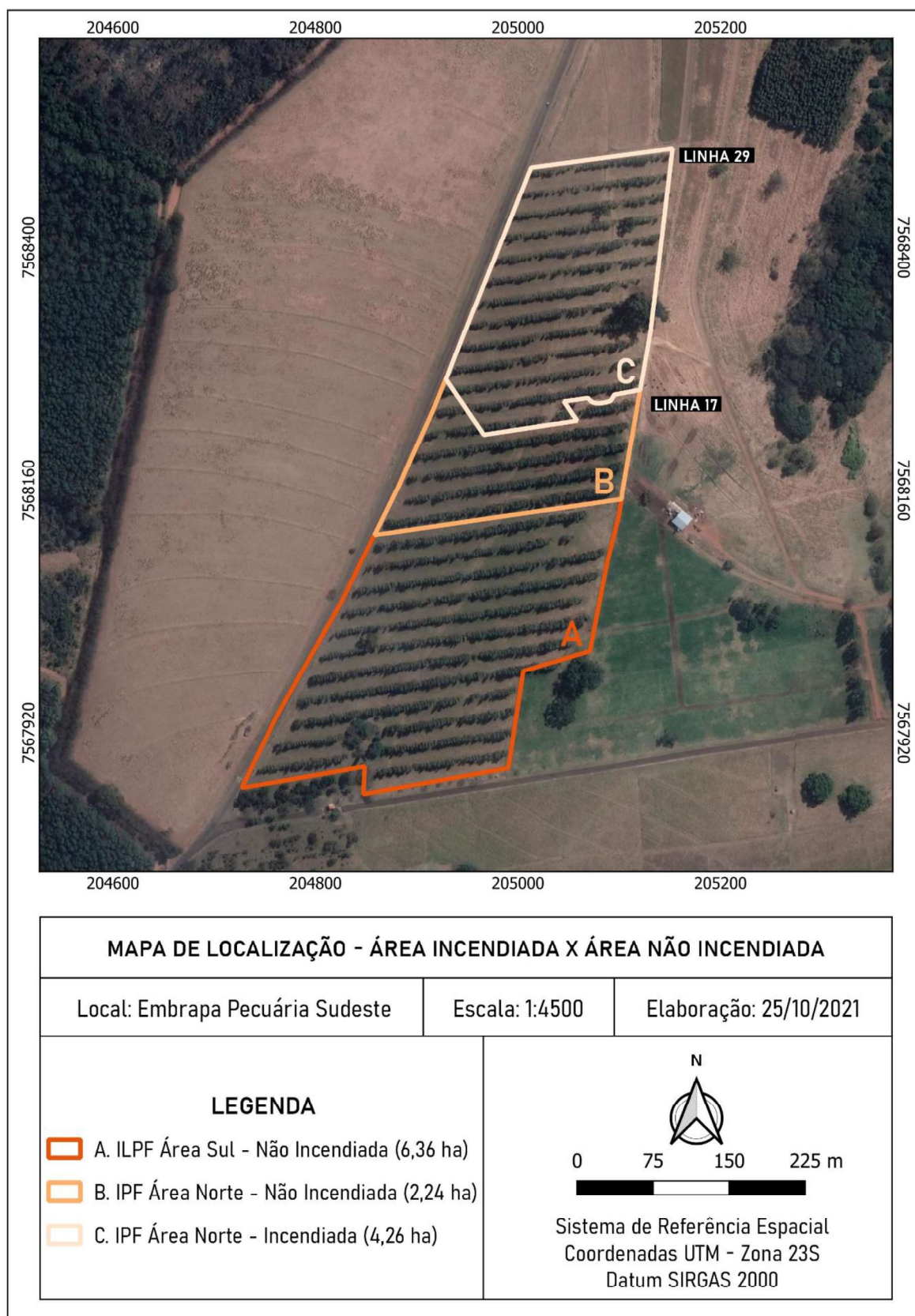
A = Área Sul - Não Incendiada

B = Área Norte - Não Incendiada

C = Área Norte - Incendiada

Tais subdivisões estão devidamente representadas e posicionadas na Figura 2, e serão utilizadas ao longo de todo o trabalho, para cálculos e comparações de resultados.

Figura 2. Mapa de Subdivisões do sistema ILPF Leite – ABC



Fonte: Produzido pelo autor (2021)

Imagens aéreas e terrestres da área foram tiradas logo após o controle do fogo, ficando como registro visual da dimensão do incêndio (Figura 3).

Figura 3. Imagens do incêndio na área do ILPF Leite



Fonte: Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos/SP (2020)

4.2 Coleta de dados

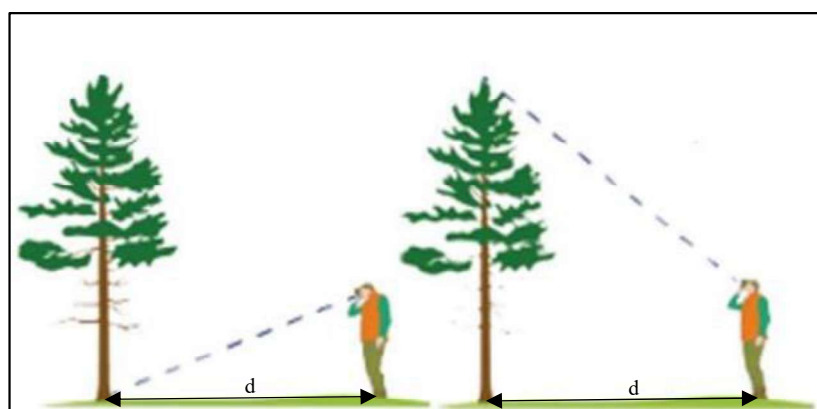
4.2.1 Altura das árvores de Eucalipto

A medição da altura de uma árvore pode ser feita através de diversas técnicas e instrumentos, no presente trabalho os dados de altura das árvores de eucalipto foram

coletados com o auxílio de um hipsômetro/clinômetro eletrônico Haglof®. O aparelho permite medir ângulos e a altura total das árvores com precisão, a uma distância conhecida do operador até o alvo em questão, baseado nessa distância o aparelho calcula a altura e mostra imediatamente o resultado em seu visor interno (OLIVEIRA et al., 2014).

A aferição das alturas das árvores de eucalipto presentes no sistema ILPF Leite foi realizada por dois operadores. Após a localização e coleta das coordenadas geográficas, com aparelho GPS portátil, da árvore a ser mensurada no sistema, o primeiro passo foi dado pelo primeiro operador, que se deslocou até o eucalipto para identificar a base da árvore, que muitas vezes pode ter sua visualização encoberta pela presença de vegetação rasteira. Com a base livre para visualização, o segundo operador, com o hipsômetro em mãos, se posicionou a uma distância de 15 metros da árvore, esta distância foi marcada no aparelho antes do mesmo ser levado a altura dos olhos do operador e apontado para o eucalipto para realizar a identificação de sua base. Com a base identificada, o equipamento foi movido até visar o ponto mais alto da árvore, tornando possível assim a aferição do valor da altura, neste momento observada no visor do próprio aparelho (BUENO, 2021).

Figura 4. Exemplo do processo de utilização do hipsômetro.



Fonte: Gisiberica

Esse processo de medição de altura foi realizado nas linhas 3 a 12, 15 a 20, e 22 a 25 do sistema. Foram medidas 20 árvores em cada linha, cada linha foi dividida em 4 blocos, sendo cada bloco composto por 5 árvores, resultando assim em um total de 400 árvores medidas em todo o sistema.

Os valores de altura fornecidos pelo hipsômetro em campo foram, em um primeiro momento, anotados em uma planilha manual juntamente com a identificação dos eucaliptos.

Em um segundo momento tais dados foram transferidos para uma planilha digital montada no Excel, vinculando as coordenadas geográficas de cada bloco de árvores com as respectivas informações de linha, altura e número das plantas que os compunham. Ainda no Excel, foi calculada a média de altura de cada um dos 4 blocos, de todas as 20 linhas que tiveram algumas de suas unidades arbóreas medidas, estes valores médios serão utilizados nas próximas etapas do trabalho. A Figura 5 exemplifica a maneira com que os dados de altura das árvores coletados em campo foram organizados no Excel, a coluna de plantas é referente aos indivíduos arbóreos que tiveram suas coordenadas geográficas escolhidas, arbitrariamente, para serem atreladas a média de altura do bloco e representá-lo em ambiente SIG.

Figura 5. Exemplo de organização dos dados de altura no Excel.

Data: 13/05/2020				
Linha	Bloco	Planta	Altura	Média de Altura do Bloco
3	1	14	11,20	10,78
			11,50	
			9,00	
			11,20	
			11,00	
3	2	23	9,50	10,60
			11,60	
			11,00	
			10,60	
			10,30	
3	3	30	12,10	11,36
			11,80	
			10,00	
			11,70	
			11,20	
3	4	39	9,60	9,26
			7,40	
			9,90	
			9,70	
			9,70	

Fonte: Produzido pelo autor (2021)

Os dados de altura utilizados neste trabalho foram coletados no mês de março dos anos de 2019, 2020 e 2021, seguindo o mesmo procedimento de medição e organização explicado neste tópico.

4.2.2 DAP das árvores de Eucalipto

Para entender como foram coletados e calculados os valores de diâmetro das árvores de eucalipto é preciso primeiro entender os conceitos de DAP, altura e fator de forma adotados neste trabalho. De forma simplificada, o DAP é uma medida do diâmetro da árvore a 1,30 metro de altura em relação ao nível do solo; a altura é o comprimento da árvore ou do seu tronco; e o fator de forma expressa o afilamento do tronco ao longo de seu comprimento, em outras palavras, indica quanto o diâmetro de uma árvore diminui ao longo da sua altura (CCC, 2020).

A medição do diâmetro a altura do peito (DAP) de uma árvore pode ser feita com o auxílio de fita métrica ou sutas, sejam mecânicas ou digitais (CORTE et al., 2016). No presente trabalho os dados de DAP das árvores de eucalipto foram calculados com o auxílio de uma fita métrica. A medição pôde ser feita por apenas um operador, o primeiro passo consistiu na marcação de 1,30 metro vertical partindo da base da árvore. Com a altura marcada, o segundo passo foi medir, com a mesma fita métrica, a circunferência do tronco na altura de 1,30 metros previamente marcada. Com o valor da circunferência medido, foi possível calcular o DAP da árvore a partir da relação entre as grandezas do perímetro de uma circunferência e seu diâmetro.

A circunferência de um objeto pode ser calculada a partir da fórmula:

$$(I) \quad C = 2 \cdot \pi \cdot r$$

Onde C = comprimento da circunferência ou perímetro; r = raio da circunferência.

Como o DAP é definido como a medida do diâmetro da árvore, e sabendo que o diâmetro equivale a duas vezes o valor do raio, podemos definir o DAP do tronco como:

$$(II) \quad DAP = 2r$$

Onde r = raio do tronco; DAP = diâmetro do tronco a altura do peito.

Substituindo (II) em (I) é possível calcular o diâmetro (DAP) das árvores de eucalipto do sistema ILPF Leite através da fórmula:

$$C = 2 \cdot \pi \cdot r \rightarrow CAP = 2r \cdot \pi$$

Onde CAP = circunferência a altura do peito (1,30m) e r = raio do tronco.

Se $DAP = 2r$ (II), então:

$$CAP = DAP \cdot \pi$$

Isolando o DAP temos:

$$(III) \quad DAP = \frac{CAP}{\pi}$$

Onde DAP = diâmetro do tronco a altura do peito (1,30m) e CAP = circunferência a altura do peito (1,30m).

Esse processo de medição de circunferência e cálculo de DAP foi realizado nas linhas 3 a 12, 15 a 20, e 22 a 29 do sistema. Foram medidas 20 árvores em cada linha, cada linha foi dividida em 4 blocos, sendo cada bloco composto por 5 árvores, resultando assim em um total de 400 árvores medidas em todo o sistema.

Os valores de circunferência a altura do peito (CAP) coletados com fita métrica em campo foram, em um primeiro momento, anotados em uma planilha manual juntamente com a identificação dos eucaliptos. Em um segundo momento, tais dados foram transferidos para uma planilha digital montada no Excel, convertidos para diâmetro a altura do peito (DAP) conforme a fórmula (III), e vinculados as coordenadas geográficas de cada bloco de árvores com as respectivas informações de linha e número das plantas que os compunham. Ainda no Excel, foi calculada a média do DAP de cada um dos 4 blocos, de todas as 20 linhas que tiveram algumas de suas unidades arbóreas medidas, estes valores médios serão utilizados nas próximas etapas do trabalho.

A Figura 6 exemplifica a maneira com que os dados de DAP das árvores foram organizados no Excel, a coluna de plantas é referente aos indivíduos arbóreos que tiveram suas coordenadas geográficas escolhidas, arbitrariamente, para serem atreladas a média de DAP do bloco e representá-lo em ambiente SIG.

Figura 6. Exemplo de organização dos dados de DAP no Excel

Data: 13/05/2020				
Linha	Bloco	Planta	DAP	Média de DAP do Bloco
3	1	14	14,70	14,30
			18,40	
			12,00	
			12,80	
			13,60	
3	2	23	11,40	13,28
			15,90	
			12,80	
			14,50	
			11,80	
3	3	30	13,60	13,72
			15,30	
			12,30	
			14,20	
			13,20	
3	4	39	11,50	12,08
			8,00	
			13,80	
			15,10	
			12,00	

Fonte: Produzido pelo autor (2021)

Assim como os dados de altura, os dados de DAP utilizados neste trabalho foram coletados no mês de março dos anos de 2019, 2020 e 2021, seguindo o mesmo procedimento de medição e organização explicado neste tópico.

4.3 Processamento de dados

4.3.1 Interpolação de dados: altura e DAP

Como primeiro passo para o processamento das informações coletadas em campo, os dados referentes a média de altura e diâmetro (DAP) de cada bloco de árvores do sistema ILPF Leite foram organizados e tabelados no Excel, sem formatação, conforme exemplificado na Figura 7, para posteriormente serem transferidos para ambiente SIG.

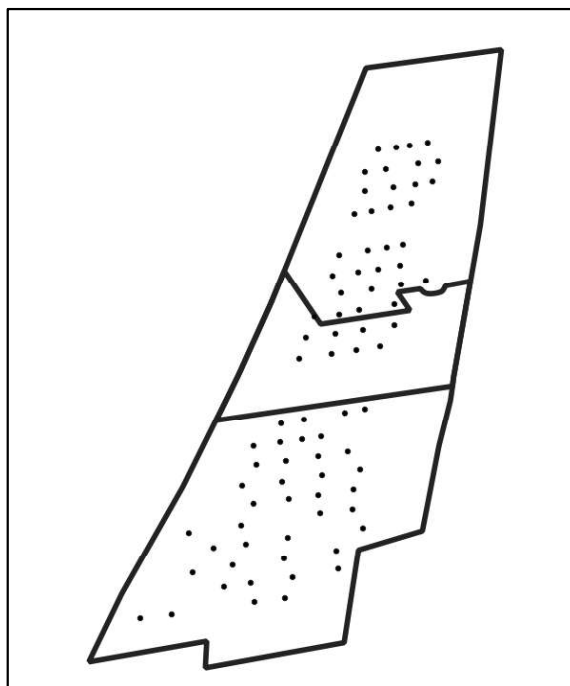
Figura 7. Exemplo de organização de dados de campo em Excel para transferência em ambiente SIG.

	A	B	C	F	G	J	K	L	M
1	PONTO	X UTM	Y UTM	Altura0519	DAP 0519	Altura0520	DAP 0520	Altura0521	DAP 0521
2	L3P1	204929	7567931	8,36	9,96	10,78	14,3	12,68	17,32
3	L3P2	204898	7567927	8,54	10,06	10,6	13,28	12,42	15,68
4	L3P3	204813	7567914	8,64	9,32	11,36	13,72	12,52	16,4
5	L3P4	204780	7567910	9,34	11,08	9,26	12,08	13,04	17
6	L4P1	204984	7567961	7,72	9,52	12,3	15,36	14,22	18,96
7	L4P2	204937	7567953	8,82	10,24	12,3	15,28	13,74	18,88
8	L4P3	204894	7567947	9,28	9,88	11,52	14,7	13	17,56
9	L4P4	204867	7567943	7,38	8,38	11	13,58	12,64	17,18
10	L5P1	204982	7567980	7,8	9,14	13,4	16,24	13,92	19,8
11	L5P2	204928	7567972	8,6	10,22	10,8	12,98	12,08	16,02
12	L5P3	204875	7567965	8,22	11,04	12,8	15,72	14,94	18,78
13	L5P4	204834	7567958	9,56	10,58	10,82	14,66	8,9	16,88
14	L6P1	205010	7568004	8,76	10,62	11,88	14,56	12,68	17,1
15	L6P2	204932	7567994	8,46	9	11,7	14,48	12,16	17,7
16	L6P3	204889	7567987	9,22	9,96	11,4	14,64	12,52	17,4
17	L6P4	204856	7567983	6,3	6,9	11,06	14,36	11,1	16,74
18	L7P1	204999	7568023	6,66	7,66	10,76	12,48	12,28	15,84
19	L7P2	204966	7568019	7,52	8,26	11,96	14,02	13,38	17,52
20	L7P3	204884	7568007	7,8	9,4	11,94	14,34	11,64	16,8

Fonte: Produzido pelo autor (2021)

O arquivo gerado foi salvo em formato .csv e exportado para o software QGIS 3.16.9, criando uma camada de pontos com as coordenadas de cada bloco de árvores que tiveram suas informações coletadas em campo. Os dados de altura média e DAP médio de cada bloco foram armazenados na tabela de atributos desta mesma camada. Em seguida, foram também adicionados ao QGIS um arquivo *shapefile* referente a área total do sistema ILPF Leite, e três arquivos *shapefile* referentes as subdivisões A, B e C da área, diferenciando a parte atingida pela parte não atingida pelo incêndio. O conjunto de todas as camadas de entrada adicionadas ao software pode ser visualizado na Figura 8.

Figura 8. Camadas de entrada para a interpolação de dados de altura e DAP.



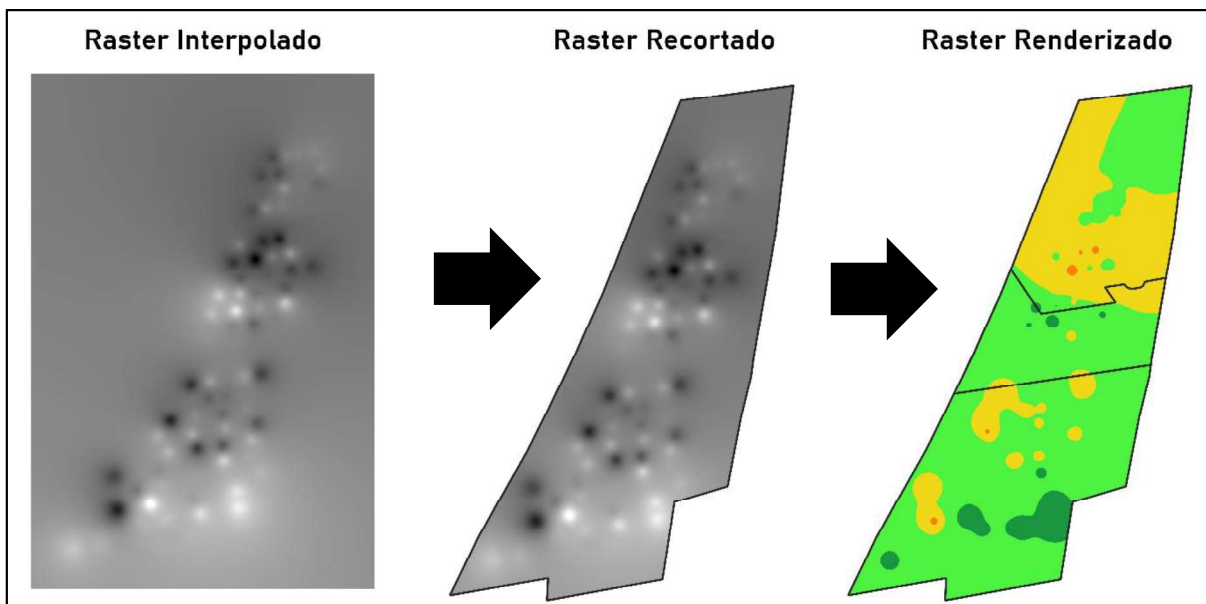
Fonte: Produzido pelo autor (2021)

O segundo passo do processamento consistiu na interpolação dos dados adicionados no software por meio do método IDW (*Inverse Distance Weighted* – Inverso Ponderado da Distância). A interpolação utilizou os pontos referentes a cada bloco de árvores, que possuem valores médios de altura e DAP já conhecidos devido a medição prévia em campo, para estimar os valores das demais árvores de eucalipto que não tiveram seus dados coletados em campo, cobrindo assim a superfície de toda a área do sistema ILPF Leite.

Para realizar o procedimento de interpolação foi utilizada a ferramenta “Interpolação IDW” presente no software QGIS 3.16.9. A ferramenta, por sua vez, utilizou a camada vetorial contendo as coordenadas dos blocos de árvores medidos em campo, os atributos de interpolação desejados (altura ou DAP), e a camada de extensão referente a área total do sistema ILPF Leite para criar uma imagem raster interpolada. Essa camada raster criada foi cortada através da ferramenta “Recortar raster pela camada de máscara” para ocupar apenas o limite da área de estudos e, em seguida, renderizada em 5 intervalos de classe do tipo Banda simples falsa-cor, por método discreto, modo intervalo igual e gradiente de cores “RdYIGn”, que atribuiu aos menores valores de altura/DAP a coloração vermelha, passando pelo laranja, amarelo, verde claro até chegar ao verde escuro com os maiores valores de altura/DAP. Por fim, as camadas

referentes às subdivisões A, B e C da área do sistema foram acionadas, dividindo assim a camada interpolada em área sul não incendiada (A), área norte não incendiada (B) e área norte incendiada (C), conforme exemplificado na Figura 9, para fins comparativos.

Figura 9. Exemplo do processo de interpolação de dados



Fonte: Produzido pelo autor (2021)

O processo de interpolação descrito acima foi realizado com os dados de altura e DAP coletados em maio de 2019, maio de 2020 e maio de 2021. Os mapas resultantes deste processo serão exibidos e explicados nos tópicos 5.1 e 5.2 desse relatório.

4.3.2 Interpolação de dados: volume

A partir dos dados médios de altura e DAP coletados em campo foi possível calcular o volume médio dos indivíduos arbóreos presentes no sistema ILPF Leite. O volume de uma árvore pode ser calculado pelo volume do cilindro, multiplicado pelo fator de forma da espécie arbórea em questão, como demonstra a fórmula a seguir:

$$(I) \quad V = \pi \cdot r^2 \cdot h \cdot f$$

Onde V = volume da árvore; r = raio do tronco; h = altura da árvore; f = fator de forma da espécie arbórea.

Como o DAP é definido como a medida do diâmetro da árvore, e o diâmetro equivale a duas vezes o valor do raio, podemos definir o raio do tronco como:

$$(II) \quad 2r = DAP \rightarrow r = \frac{DAP}{2}$$

Onde r = raio do tronco; DAP = diâmetro do tronco.

Substituindo (II) em (I) é possível calcular o volume das árvores de eucalipto do sistema ILPF Leite através da fórmula:

$$(III) \quad Ve = \pi \cdot \left(\frac{DAP}{2}\right)^2 \cdot h \cdot f$$

Onde Ve = volume do eucalipto (m^3); DAP = diâmetro do tronco (m); h = altura da árvore (m); f = fator de forma do eucalipto citriodora.

Segundo relatório da Embrapa Rondônia, o fator de forma do Eucalipto citriodora é igual a 0,45 (CIPRIANI et al., 2015). Substituindo este valor em (III), chegamos na fórmula utilizada para cálculos de volume de madeira nesse trabalho:

$$Ve = \pi \cdot \left(\frac{DAP}{2}\right)^2 \cdot h \cdot 0,45$$

Após calculado o volume de todas as árvores medidas em campo nas datas de maio de 2019, maio de 2020 e maio de 2021, os resultados obtidos foram organizados em uma planilha no Excel, salva em formato .csv e transferida para o QGIS 3.16.9. Uma vez dentro do software, os dados foram submetidos ao método de Interpolação IDW assim como feito anteriormente com os dados de altura e DAP, gerando assim mapas interpolados de volume que serão apresentados e explicados no tópico 5.3 desse relatório.

4.3.3 Cálculo de área e percentual por classe interpolada

Com o intuito de comparar matematicamente a diferença de crescimento das unidades arbóreas do sistema ILPF Leite, foram atribuídos valores percentuais referentes a ocupação de cada um dos 5 intervalos de classe de crescimento gerados nos mapas interpolados de altura, DAP e volume em relação a área total do sistema.

Buscando aumentar a precisão dos valores que seriam gerados, o primeiro passo consistiu em adicionar a camada raster interpolada no QGIS e, com a ferramenta “Calculadora de raster” multiplicar os valores dos intervalos de classe por 100, no caso dos dados de altura e DAP, e por 1.000, no caso dos dados de volume, tornando-os assim números inteiros. A Tabela 2 mostra os valores mínimos e máximos originais do intervalo de classes do raster por tipo de dado, e os valores obtidos após a aplicação da multiplicação.

Tabela 2. Intervalos de classe multiplicados para uso na ferramenta r.reclass

Tipo de Dado	Intervalo de classe original	Intervalo de classe multiplicado
Altura	5,7 – 14,5 m	570 – 1450 m
DAP	6,5 – 20,0 cm	650 – 2000 cm
Volume	0,009 – 0,197 m ³	9 – 197 m ³

Fonte: Produzido pelo autor (2021)

O segundo passo consistiu na reclassificação da camada raster multiplicada, através da ferramenta “r.reclass”, criando assim uma camada com valores de categoria baseados na classificação original do raster. Tal procedimento é feito para o software passar a reconhecer os intervalos de classificação do raster como valores reais e não meramente visuais, possibilitando assim o cálculo da área ocupada por cada uma das 5 categorias de classificação presentes no raster. É importante mencionar que a ferramenta “r.reclass” só funciona com números inteiros, o que significa que, ao adicionar números decimais a ferramenta irá arredondá-los para o número inteiro mais próximo, o que pode acarretar a perda de precisão dos resultados gerados, foi justamente para evitar tal situação que os valores decimais da camada raster de entrada foram transformados em números inteiros no primeiro passo do procedimento.

Com a camada reclassificada gerada, o terceiro passo consistiu no cálculo da área ocupada por cada intervalo de classe no mapa interpolado, para isso foi utilizada a ferramenta “r.report”, que gerou um relatório de estatísticas da área, identificando o valor em hectare ocupado por cada uma das 5 classes do raster, conforme exemplificado na Figura 10.

Figura 10. Exemplo de relatório estatístico gerado pela ferramenta “r.report”, com dados de altura de 2019.

RASTER MAP CATEGORY REPORT			
LOCATION: temp_location		Thu Dec 02 14:18:23 2021	
REGION	north:	7568151.17578684	east: 205102.17020564
	south:	7567859.5	west: 204727.22
	res:	0.0999917	res: 0.09998672
MASK: none			
MAP: (untitled) (rast_61a8ffdca4dc017 in PERMANENT)			
Category Information			
#	description		hectares
3	.	.	0.027072
1	.	.	0.604108
2	.	.	5.738462
TOTAL			6.369642

Fonte: Produzido pelo autor (2021)

Após os relatórios de todas as áreas referentes aos mapas interpolados de altura, DAP e volume serem gerados, os dados obtidos foram organizados em tabelas no Excel, divididos por tipo de dado e ano. Com todos os dados organizados foi possível calcular a área ocupada por cada intervalo de classes em percentual relativo à área total do sistema, para isso os valores, em hectare, da área ocupada por cada intervalo de classe foram divididos pela área total do sistema ou pela área total de cada subdivisão (ABC) e, em seguida, divididos por 100, gerando assim o percentual de área ocupado por cada intervalo de classe, conforme exemplificado nas Figuras 11, 12 e 13.

Figura 11. Organização em Excel de dados de altura do relatório estatístico de área gerados pela ferramenta "r.report" e cálculo percentual.

Altura 05/19			Altura 05/20			Altura 05/21		
Área Total - ILPF			Área Total - ILPF			Área Total - ILPF		
	Área (ha)	% Relativa a Área Total		Área (ha)	% Relativa a Área Total		Área (ha)	% Relativa a Área Total
Classe 1	1,8	14,00%	Classe 1	0	0,00%	Classe 1	0	0,00%
Classe 2	11,04	85,85%	Classe 2	0,02	0,16%	Classe 2	0,03	0,23%
Classe 3	0,02	0,16%	Classe 3	6,71	52,18%	Classe 3	3,71	28,85%
Classe 4	0	0,00%	Classe 4	6,11	47,51%	Classe 4	8,58	66,72%
Classe 5	0	0,00%	Classe 5	0,02	0,16%	Classe 5	0,54	4,20%
Total	12,86	100,00%	Total	12,86	100,00%	Total	12,86	100,00%
A - Área Sul Não Incendiada			A - Área Sul Não Incendiada			A - Área Sul Não Incendiada		
	Área (ha)	% Relativa a Área A		Área (ha)	% Relativa a Área A		Área (ha)	% Relativa a Área A
Classe 1	0,6	9,43%	Classe 1	0	0,00%	Classe 1	0	0,00%
Classe 2	5,73	90,09%	Classe 2	0	0,00%	Classe 2	0,01	0,16%
Classe 3	0,03	0,47%	Classe 3	2,15	33,81%	Classe 3	0,7	11,01%
Classe 4	0	0,00%	Classe 4	4,19	65,88%	Classe 4	5,15	80,97%
Classe 5	0	0,00%	Classe 5	0,02	0,31%	Classe 5	0,5	7,86%
Total	6,36	100,00%	Total	6,36	100,00%	Total	6,36	100,00%
B - Área Norte Não Incendiada			B - Área Norte Não Incendiada			B - Área Norte Não Incendiada		
	Área (ha)	% Relativa a Área B		Área (ha)	% Relativa a Área B		Área (ha)	% Relativa a Área B
Classe 1	0	0,00%	Classe 1	0	0,00%	Classe 1	0	0,00%
Classe 2	2,24	100,00%	Classe 2	0	0,00%	Classe 2	0	0,00%
Classe 3	0	0,00%	Classe 3	0,75	33,48%	Classe 3	0,26	11,61%
Classe 4	0	0,00%	Classe 4	1,49	66,52%	Classe 4	1,94	86,61%
Classe 5	0	0,00%	Classe 5	0	0,00%	Classe 5	0,04	1,79%
Total	2,24	100,00%	Total	2,24	100,00%	Total	2,24	100,00%
C - Área Norte Incendiada			C - Área Norte Incendiada			C - Área Norte Incendiada		
	Área (ha)	% Relativa a Área C		Área (ha)	% Relativa a Área C		Área (ha)	% Relativa a Área C
Classe 1	1,2	28,17%	Classe 1	0	0,00%	Classe 1	0	0,00%
Classe 2	3,06	71,83%	Classe 2	0,02	0,47%	Classe 2	0,02	0,47%
Classe 3	0	0,00%	Classe 3	3,81	89,44%	Classe 3	2,75	64,55%
Classe 4	0	0,00%	Classe 4	0,43	10,09%	Classe 4	1,48	34,74%
Classe 5	0	0,00%	Classe 5	0	0,00%	Classe 5	0,01	0,23%
Total	4,26	100,00%	Total	4,26	100,00%	Total	4,26	100,00%

Fonte: Produzido pelo autor (2021)

Figura 12. Organização em Excel de dados de DAP do relatório estatístico de área gerados pela ferramenta "r.report" e cálculo percentual.

DAP 05/19			DAP 05/20			DAP 05/21		
Área Total - ILPF			Área Total - ILPF			Área Total - ILPF		
	Área (ha)	% Relativa a Área Total		Área (ha)	% Relativa a Área Total		Área (ha)	% Relativa a Área Total
Classe 1	8,75	68,04%	Classe 1	0	0,00%	Classe 1	0	0,00%
Classe 2	4,11	31,96%	Classe 2	0,46	3,58%	Classe 2	0,02	0,16%
Classe 3	0	0,00%	Classe 3	12,06	93,78%	Classe 3	3,81	29,63%
Classe 4	0	0,00%	Classe 4	0,34	2,64%	Classe 4	8,29	64,46%
Classe 5	0	0,00%	Classe 5	0	0,00%	Classe 5	0,74	5,75%
Total	12,86	100,00%	Total	12,86	100,00%	Total	12,86	100,00%
A - Área Sul Não Incendiada			A - Área Sul Não Incendiada			A - Área Sul Não Incendiada		
	Área (ha)	% Relativa a Área A		Área (ha)	% Relativa a Área A		Área (ha)	% Relativa a Área A
Classe 1	2,94	46,23%	Classe 1	0	0,00%	Classe 1	0	0,00%
Classe 2	3,42	53,77%	Classe 2	0,09	1,42%	Classe 2	0	0,00%
Classe 3	0	0,00%	Classe 3	6	94,34%	Classe 3	0,07	1,10%
Classe 4	0	0,00%	Classe 4	0,27	4,25%	Classe 4	5,62	88,36%
Classe 5	0	0,00%	Classe 5	0	0,00%	Classe 5	0,67	10,53%
Total	6,36	100,00%	Total	6,36	100,00%	Total	6,36	100,00%
B - Área Norte Não Incendiada			B - Área Norte Não Incendiada			B - Área Norte Não Incendiada		
	Área (ha)	% Relativa a Área B		Área (ha)	% Relativa a Área B		Área (ha)	% Relativa a Área B
Classe 1	1,63	72,77%	Classe 1	0	0,00%	Classe 1	0	0,00%
Classe 2	0,61	27,23%	Classe 2	0	0,00%	Classe 2	0	0,00%
Classe 3	0	0,00%	Classe 3	2,19	97,77%	Classe 3	0,02	0,89%
Classe 4	0	0,00%	Classe 4	0,05	2,23%	Classe 4	2,16	96,43%
Classe 5	0	0,00%	Classe 5	0	0,00%	Classe 5	0,06	2,68%
Total	2,24	100,00%	Total	2,24	100,00%	Total	2,24	100,00%
C - Área Norte Incendiada			C - Área Norte Incendiada			C - Área Norte Incendiada		
	Área (ha)	% Relativa a Área C		Área (ha)	% Relativa a Área C		Área (ha)	% Relativa a Área C
Classe 1	4,18	98,12%	Classe 1	0	0,00%	Classe 1	0	0,00%
Classe 2	0,08	1,88%	Classe 2	0,38	8,92%	Classe 2	0,02	0,47%
Classe 3	0	0,00%	Classe 3	3,87	90,85%	Classe 3	3,72	87,32%
Classe 4	0	0,00%	Classe 4	0,01	0,23%	Classe 4	0,51	11,97%
Classe 5	0	0,00%	Classe 5	0	0,00%	Classe 5	0,01	0,23%
Total	4,26	100,00%	Total	4,26	100,00%	Total	4,26	100,00%

Fonte: Produzido pelo autor (2021)

Figura 13. Organização em Excel de dados de volume do relatório estatístico de área gerados pela ferramenta "r.report" e cálculo percentual.

Volume 05/19			Volume 05/20			Volume 05/21		
Área Total - ILPF			Área Total - ILPF			Área Total - ILPF		
	Área (ha)	% Relativa a Área Total		Área (ha)	% Relativa a Área Total		Área (ha)	% Relativa a Área Total
Classe 1	12,86	100,00%	Classe 1	0,13	1,01%	Classe 1	0,02	0,16%
Classe 2	0	0,00%	Classe 2	11,93	92,77%	Classe 2	3,89	30,25%
Classe 3	0	0,00%	Classe 3	0,79	6,14%	Classe 3	6,28	48,83%
Classe 4	0	0,00%	Classe 4	0,01	0,08%	Classe 4	2,52	19,60%
Classe 5	0	0,00%	Classe 5	0	0,00%	Classe 5	0,15	1,17%
Total	12,86	100,00%	Total	12,86	100,00%	Total	12,86	100,00%
A - Área Sul Não Incendiada			A - Área Sul Não Incendiada			A - Área Sul Não Incendiada		
	Área (ha)	% Relativa a Área A		Área (ha)	% Relativa a Área A		Área (ha)	% Relativa a Área A
Classe 1	6,36	100,00%	Classe 1	0,03	0,47%	Classe 1	0	0,00%
Classe 2	0	0,00%	Classe 2	5,7	89,62%	Classe 2	0,11	1,73%
Classe 3	0	0,00%	Classe 3	0,62	9,75%	Classe 3	3,86	60,69%
Classe 4	0	0,00%	Classe 4	0,01	0,16%	Classe 4	2,26	35,53%
Classe 5	0	0,00%	Classe 5	0	0,00%	Classe 5	0,13	2,04%
Total	6,36	100,00%	Total	6,36	100,00%	Total	6,36	100,00%
B - Área Norte Não Incendiada			B - Área Norte Não Incendiada			B - Área Norte Não Incendiada		
	Área (ha)	% Relativa a Área B		Área (ha)	% Relativa a Área B		Área (ha)	% Relativa a Área B
Classe 1	2,24	100,00%	Classe 1	0	0,00%	Classe 1	0	0,00%
Classe 2	0	0,00%	Classe 2	2,11	94,20%	Classe 2	0,02	0,89%
Classe 3	0	0,00%	Classe 3	0,13	5,80%	Classe 3	1,97	87,95%
Classe 4	0	0,00%	Classe 4	0	0,00%	Classe 4	0,24	10,71%
Classe 5	0	0,00%	Classe 5	0	0,00%	Classe 5	0,01	0,45%
Total	2,24	100,00%	Total	2,24	100,00%	Total	2,24	100,00%
C - Área Norte Incendiada			C - Área Norte Incendiada			C - Área Norte Incendiada		
	Área (ha)	% Relativa a Área C		Área (ha)	% Relativa a Área C		Área (ha)	% Relativa a Área C
Classe 1	4,26	100,00%	Classe 1	0,1	2,35%	Classe 1	0,02	0,47%
Classe 2	0	0,00%	Classe 2	4,11	96,48%	Classe 2	3,77	88,50%
Classe 3	0	0,00%	Classe 3	0,05	1,17%	Classe 3	0,45	10,56%
Classe 4	0	0,00%	Classe 4	0	0,00%	Classe 4	0,02	0,47%
Classe 5	0	0,00%	Classe 5	0	0,00%	Classe 5	0	0,00%
Total	4,26	100,00%	Total	4,26	100,00%	Total	4,26	100,00%

Fonte: Produzido pelo autor (2021)

Para facilitar a visualização e interpretação numérica dos valores obtidos, os dados percentuais calculados para cada subdivisão (ABC) do sistema ILPF Leite foram compilados em nove tabelas, sendo três para cada ano de coleta de dado (2019, 2020, 2021), conforme exemplificado na Figura 14.

Figura 14. Tabela percentual de área relativa aos dados de altura, DAP e volume das árvores de eucalipto.

Altura 0519						Altura 0520						Altura 0521					
IC	ILPF	A	B	C		IC	ILPF	A	B	C		IC	ILPF	A	B	C	
<= 7,5	14%	8,4%	0%	28,2%		<= 7,5	0%	0%	0%	0%		<= 7,5	0%	0%	0%	0%	
7,5 - 9,2	85,8%	90,1%	100%	71,8%		7,5 - 9,2	0,2%	0%	0%	0,5%		7,5 - 9,2	0,2%	0,2%	0%	0,5%	
9,2 - 11,0	0,2%	0,5%	0%	0%		9,2 - 11,0	52,1%	33,8%	33,5%	89,4%		9,2 - 11,0	28,9%	11%	11,6%	64,6%	
11,0 - 12,7	0%	0%	0%	0%		11,0 - 12,7	47,5%	65,9%	66,5%	10,1%		11,0 - 12,7	66,7%	81%	86,6%	34,7%	
> 12,7	0%	0%	0%	0%		> 12,7	0,2%	0,3%	0%	0%		> 12,7	4,2%	7,8%	1,8%	0,2%	
DAP 0519						DAP 0520						DAP 0521					
IC	ILPF	A	B	C		IC	ILPF	A	B	C		IC	ILPF	A	B	C	
<= 9,2	48%	46,2%	72,6%	98,1%		<= 9,2	0%	0%	0%	0%		<= 9,2	0%	0,0%	0%	0%	
9,2 - 11,9	32%	53,8%	27,2%	1,9%		9,2 - 11,9	3,6%	1,4%	0%	8,9%		9,2 - 11,9	0,2%	0,0%	0%	0,5%	
11,9 - 14,6	0%	0%	0%	0%		11,9 - 14,6	93,8%	94,3%	97,8%	90,9%		11,9 - 14,6	29,6%	1,1%	0,9%	87,3%	
14,6 - 17,3	0%	0%	0%	0%		14,6 - 17,3	2,6%	4,3%	2,2%	0,2%		14,6 - 17,3	64,5%	89,4%	96,4%	12%	
> 17,3	0%	0%	0%	0%		> 17,3	0%	0%	0%	0%		> 17,3	5,7%	10,5%	2,7%	0,2%	
Volume 0519						Volume 0520						Volume 0521					
IC	ILPF	A	B	C		IC	ILPF	A	B	C		IC	ILPF	A	B	C	
<= 0,047	100%	100%	100%	100%		<= 0,047	1%	0,5%	0%	2,3%		<= 0,047	0,2%	0,0%	0%	0,5%	
0,047 - 0,084	0%	0%	0%	0%		0,047 - 0,084	92,8%	89,6%	94,2%	96,5%		0,047 - 0,084	30,2%	1,7%	0,9%	88,5%	
0,084 - 0,122	0%	0%	0%	0%		0,084 - 0,122	6,1%	9,7%	5,8%	1,2%		0,084 - 0,122	48,8%	60,7%	87,9%	10,5%	
0,122 - 0,159	0%	0%	0%	0%		0,122 - 0,159	0,1%	0,2%	0%	0%		0,122 - 0,159	19,6%	35,5%	10,7%	0,5%	
> 0,159	0%	0%	0%	0%		> 0,159	0%	0%	0%	0%		> 0,159	1,2%	2,1%	0,5%	0%	

Fonte: Produzido pelo autor (2021)

As tabelas percentuais geradas foram adicionadas aos mapas de interpolação referente a cada dado, que serão apresentados nos tópicos 5.1, 5.2 e 5.3 desse relatório.

4.4 Balanço financeiro e de volume

Com o intuito de estimar, em volume e financeiramente, a perda gerada pelo incêndio que atingiu a área norte do sistema ILPF Leite, foi calculado o valor aproximado de volume de madeira presente no sistema na última coleta de dados (maio de 2021), e o equivalente financeiro referente a este volume total. Posteriormente, foi estimado o quanto o mesmo sistema estaria rendendo nesta mesma data caso o incêndio não tivesse ocorrido.

Para fazer essa estimativa, o primeiro passo foi medir através da ferramenta de medição do QGIS 3.16.9 o comprimento de cada uma das 29 linhas de árvores presentes no sistema ILPF Leite. Sabendo que cada muda de árvore de uma única linha foi plantada com uma distância de 3 metros uma da outra, dividiu-se o comprimento de cada linha por 3, obtendo assim uma estimativa da quantidade de árvores presentes em cada uma das 29 linhas do sistema. As quantidades de árvores estimadas em cada linha foram somadas, obtendo-se assim uma estimativa da quantidade total de árvores plantadas na área. Por fim, a quantidade total de árvores (1.810) foi dividida pela área total do sistema (12,86 ha), resultando assim em um valor médio de árvores plantadas por hectare (141). Todos esses dados foram organizados em planilha digital no Excel, conforme demonstrado na Figura 15.

Figura 15. Planilha de organização de quantidade de árvores do sistema ILPF Leite

Linha	Comprimento (m)	N° de Árvores
1	119	40
2	73	24
2	110	37
3	55	18
3	121	40
4	210	70
5	218	73
6	255	85
7	255	85
8	240	80
9	244	81
10	240	80
11	196	65
12	201	67
13	217	72
14	203	68
15	210	70
16	205	68
17	196	65
18	192	64
19	188	63
20	172	57
21	154	51
22	137	46
23	150	50
24	161	54
25	150	50
26	144	48
27	144	48
28	138	46
29	133	44
Total		1810

Árvores por Hectare	141
---------------------	-----

Fonte: Produzido pelo autor (2021)

O segundo passo consistiu no cálculo da média de volume de madeira presente em cada um dos 5 intervalos de classe (vermelho, laranja, amarelo, verde claro e verde escuro) gerados durante o processo de interpolação de dados, conforme demonstrado na Figura 16.

Figura 16. Volume médio de madeira em cada uma das 5 classes do sistema ILPF Leite

	Volume	Volume Médio
Classe 1	$\leq 0,047$ (0,009 - 0,047)	0,028
Classe 2	0,047 - 0,084	0,066
Classe 3	0,084 - 0,122	0,103
Classe 4	0,122 - 0,159	0,141
Classe 5	$> 0,159$ (0,159 - 0,197)	0,178

Fonte: Produzido pelo autor (2021)

Em seguida, uma pesquisa foi realizada para definir o valor de mercado do metro cúbico da madeira de eucalipto. Para esse trabalho, o levantamento financeiro do sistema foi realizado em

dois cenários, sendo um a partir do menor preço encontrado do metro cúbico do eucalipto (R\$ 38,70), para uso em energia, e um a partir do maior preço encontrado (R\$ 155,42), para uso em serraria, conforme estabelecido por cotação do Instituto de Economia Agrícola (IEA, 2018), exibido na Figura 17.

Figura 17. Cotação do metro cúbico da madeira de eucalipto

Produto	Preço (R\$/m ³)	Variação mensal (%)
Energia	38,70	0,00
Processo	39,19	0,00
Tratamento	57,07	0,00
Serraria	155,42	0,00
Referência: Junho/2018		

Fonte: Instituto de Economia Agrícola (2018)

Com as médias de volume e os valores de mercado do metro cúbico da madeira de eucalipto levantados, foi dado o terceiro passo para estimar o volume de madeira presente em maio de 2021 em cada subdivisão (A, B, C) e em cada classe do sistema (vermelho, laranja, amarelo, verde claro e verde escuro) no cenário pós-incêndio. Para isso, foram adicionadas em uma tabela no Excel os valores referentes as áreas ocupadas por cada uma das 5 classes de interpolação na subdivisão A, essa área já havia sido calculada anteriormente, conforme explicado no tópico 4.3.3 deste relatório. Em seguida, esses valores de área de cada classe foram multiplicados pela quantidade média de árvores presentes por hectare no sistema total (141 árvores/ha), obtendo-se assim o número médio de árvores presentes em cada classe da subdivisão A. Posteriormente, o número de árvores obtido em cada classe foi multiplicado pelo valor médio de volume da classe, demonstrado anteriormente na Figura 16, gerando assim o volume médio de madeira presente em cada classe da subdivisão A. Por fim, esse volume médio gerado para cada classe foi multiplicado pelo preço de mercado do metro cúbico do eucalipto, tanto para energia quanto para serraria, resultando assim no preço médio da madeira contida em cada classe da subdivisão A em dois cenários de venda. O mesmo procedimento foi repetido para as subdivisões B e C, para finalizar, o volume e preço total de cada subdivisão (A, B, C) foram somados, gerando a quantidade total, em volume (m³), de madeira presente em todo o

sistema ILPF Leite, e o retorno financeiro que esse volume de madeira geraria na venda para energia ou serraria, tudo no cenário pós-incêndio.

Com o cenário real (pós-incêndio) já calculado, o próximo passo consistiu no cálculo de um cenário simulado, no qual o incêndio não teria ocorrido. Observando a tendência de crescimento do eucalipto no decorrer dos três anos (2019, 2020, 2021), foi possível observar que a área incendiada foi a única que não subiu de classe após o incêndio, dessa forma, foi possível calcular o quanto a área incendiada realmente estaria gerando em volume e valor de madeira caso tivesse mantido o padrão de crescimento das demais árvores do sistema.

Para a criação do cenário sem incêndio (simulado), foi realizado o mesmo procedimento de cálculos do cenário pós-incêndio, com algumas pequenas diferenças nos valores utilizados. Os cálculos da subdivisão A, não afetada pelo incêndio, permaneceram os mesmos. Na subdivisão B, as árvores que se mantiveram na classe 2 foram passadas para a classe 3, pois se encontravam próximas ao limite que separa a área atingida pelo fogo da não atingida, sendo as únicas, na área toda da subdivisão B, a não subirem de classe naturalmente. Na subdivisão C, as árvores da classe 1 foram passadas para a classe 2, enquanto as árvores da classe 2 foram passadas para a classe 3, seguindo assim a tendência de crescimento observada nas áreas não afetadas pelo incêndio. Com isso, foi possível estimar o volume de madeira (m^3) e o retorno financeiro que o sistema ILPF Leite teria gerado em maio de 2021 caso o incêndio não tivesse atingido parte de sua área. Todos os dados resultantes dos cálculos citados foram organizados em tabela no Excel. Os resultados referentes ao cenário de venda da madeira para energia estão representados na Figura 18, enquanto os dados referentes ao cenário de venda para serraria estão representados na Figura 19.

Figura 18. Estimativa financeira e de volume para a venda de madeira para energia.

VOLUME 2021 - Cenário Pós Incêndio					VOLUME 2021 - Cenário Sem Incêndio					
A					>>>	A				
	Área (ha)	Nº de Árvores	Volume (m³)	Preço			Área (ha)	Nº de Árvores	Volume (m³)	Preço
Classe 1	0,00	0	0,000	R\$ 0,00		Classe 1	0,00	0	0,000	R\$ 0,00
Classe 2	0,11	15	1,014	R\$ 39,25		Classe 2	0,11	15	1,014	R\$ 39,25
Classe 3	3,86	543	55,968	R\$ 2.165,97		Classe 3	3,86	543	55,968	R\$ 2.165,97
Classe 4	2,26	318	44,699	R\$ 1.729,87		Classe 4	2,26	318	44,699	R\$ 1.729,87
Classe 5	0,13	18	3,257	R\$ 126,06		Classe 5	0,13	18	3,257	R\$ 126,06
Total	6,36	895	104,940	R\$ 4.061,16		Total	6,36	895	104,940	R\$ 4.061,16
B					>>>	B				
	Área (ha)	Nº de Árvores	Volume (m³)	Preço			Área (ha)	Nº de Árvores	Volume (m³)	Preço
Classe 1	0,00	0	0,000	R\$ 0,00		Classe 1	0	0	0,000	R\$ 0,00
Classe 2	0,02	3	0,184	R\$ 7,14		Classe 2	0	0	0,000	R\$ 0,00
Classe 3	1,97	277	28,564	R\$ 1.105,43		Classe 3	1,99	280	28,854	R\$ 1.116,65
Classe 4	0,24	34	4,747	R\$ 183,70		Classe 4	0,24	34	4,747	R\$ 183,70
Classe 5	0,01	1	0,251	R\$ 9,70		Classe 5	0,01	1	0,251	R\$ 9,70
Total	2,24	315	33,746	R\$ 1.305,97		Total	2,24	315	33,852	R\$ 1.310,05
C					>>>	C				
	Área (ha)	Nº de Árvores	Volume (m³)	Preço			Área (ha)	Nº de Árvores	Volume (m³)	Preço
Classe 1	0,02	3	0,079	R\$ 3,05		Classe 1	0,00	0	0,000	R\$ 0,00
Classe 2	3,77	531	34,762	R\$ 1.345,28		Classe 2	0,02	3	0,184	R\$ 7,14
Classe 3	0,45	63	6,525	R\$ 252,51		Classe 3	4,22	594	61,188	R\$ 2.367,98
Classe 4	0,02	3	0,396	R\$ 15,31		Classe 4	0,02	3	0,396	R\$ 15,31
Classe 5	0,00	0	0,000	R\$ 0,00		Classe 5	0,00	0	0,000	R\$ 0,00
Total	4,26	600	41,761	R\$ 1.616,14		Total	4,26	600	61,768	R\$ 2.390,43
TOTAL					>>>	TOTAL				
	Área (ha)	Nº de árvores	Volume (m³)	Preço			Área (ha)	Nº de árvores	Volume (m³)	Preço
ILPF Leite	12,86	1810	180,446	R\$ 6.983,27		ILPF Leite	12,86	1810	200,559	R\$ 7.761,64

OBS. Todos os cálculos foram realizados de forma automatizada, através da criação de fórmulas no Excel. Para melhor visualização dos resultados, os valores apresentados nas tabelas tiveram a visualização de suas casas decimais reduzidas (não excluídas) para zero, duas ou três casas, o que significa que o software ainda utilizou todas as casas decimais para realizar as contas, inclusive as que foram ocultas, garantindo uma melhor precisão nos resultados. Devido a isso, poderá haver uma pequena diferença de resultados caso os cálculos sejam realizados manualmente, utilizando-se apenas as casas decimais visíveis nas tabelas.

Fonte: Produzido pelo autor (2021)

Figura 19. Estimativa financeira e de volume para a venda de madeira para serraria

VOLUME 2021 - Cenário Pós Incêndio					VOLUME 2021 - Cenário Sem Incêndio				
A					>>> A				
	Área (ha)	Nº de Árvores	Volume (m³)	Preço		Área (ha)	Nº de Árvores	Volume (m³)	Preço
Classe 1	0,00	0	0,000	R\$ 0,00	Classe 1	0,00	0	0,000	R\$ 0,00
Classe 2	0,11	15	1,014	R\$ 157,64	Classe 2	0,11	15	1,014	R\$ 157,64
Classe 3	3,86	543	55,968	R\$ 8.698,59	Classe 3	3,86	543	55,968	R\$ 8.698,59
Classe 4	2,26	318	44,699	R\$ 6.947,19	Classe 4	2,26	318	44,699	R\$ 6.947,19
Classe 5	0,13	18	3,257	R\$ 506,28	Classe 5	0,13	18	3,257	R\$ 506,28
Total	6,36	895	104,940	R\$ 16.309,70	Total	6,36	895	104,940	R\$ 16.309,70
B					>>> B				
	Área (ha)	Nº de Árvores	Volume (m³)	Preço		Área (ha)	Nº de Árvores	Volume (m³)	Preço
Classe 1	0,00	0	0,000	R\$ 0,00	Classe 1	0,00	0	0,000	R\$ 0,00
Classe 2	0,02	3	0,184	R\$ 28,66	Classe 2	0,00	0	0,000	R\$ 0,00
Classe 3	1,97	277	28,564	R\$ 4.439,44	Classe 3	1,99	280	28,854	R\$ 4.484,51
Classe 4	0,24	34	4,747	R\$ 737,75	Classe 4	0,24	34	4,747	R\$ 737,75
Classe 5	0,01	1	0,251	R\$ 38,94	Classe 5	0,01	1	0,251	R\$ 38,94
Total	2,24	315	33,746	R\$ 5.244,80	Total	2,24	315	33,852	R\$ 5.261,21
C					>>> C				
	Área (ha)	Nº de Árvores	Volume (m³)	Preço		Área (ha)	Nº de Árvores	Volume (m³)	Preço
Classe 1	0,02	3	0,079	R\$ 12,25	Classe 1	0,00	0	0,000	R\$ 0,00
Classe 2	3,77	531	34,762	R\$ 5.402,65	Classe 2	0,02	3	0,184	R\$ 28,66
Classe 3	0,45	63	6,525	R\$ 1.014,08	Classe 3	4,22	594	61,188	R\$ 9.509,86
Classe 4	0,02	3	0,396	R\$ 61,48	Classe 4	0,02	3	0,396	R\$ 61,48
Classe 5	0,00	0	0,000	R\$ 0,00	Classe 5	0,00	0	0,000	R\$ 0,00
Total	4,26	600	41,761	R\$ 6.490,47	Total	4,26	600	61,768	R\$ 9.600,00
TOTAL					>>> TOTAL				
	Área (ha)	Nº de árvores	Volume (m³)	Preço		Área (ha)	Nº de árvores	Volume (m³)	Preço
ILPF Leite	12,86	1810	180,446	R\$ 28.044,97	ILPF Leite	12,86	1810	200,559	R\$ 31.170,91

OBS. Todos os cálculos foram realizados de forma automatizada, através da criação de fórmulas no Excel. Para melhor visualização dos resultados, os valores apresentados nas tabelas tiveram a visualização de suas casas decimais reduzidas (não excluídas) para zero, duas ou três casas, o que significa que o software ainda utilizou todas as casas decimais para realizar as contas, inclusive as que foram ocultadas, garantindo uma melhor precisão nos resultados. Devido a isso, poderá haver uma pequena diferença de resultados caso os cálculos sejam realizados manualmente, utilizando-se apenas as casas decimais visíveis nas tabelas.

Fonte: Produzido pelo autor (2021)

Subtraindo o volume (m³) e o valor de madeira total presente no sistema no cenário pós-incêndio (real), do valor total estimado no cenário sem incêndio (simulado), foi possível estimar a perda de volume e financeira gerada pela queimada. As tabelas com o balanço financeiro e de volume serão apresentadas e explicadas no tópico 5.4 desse relatório.

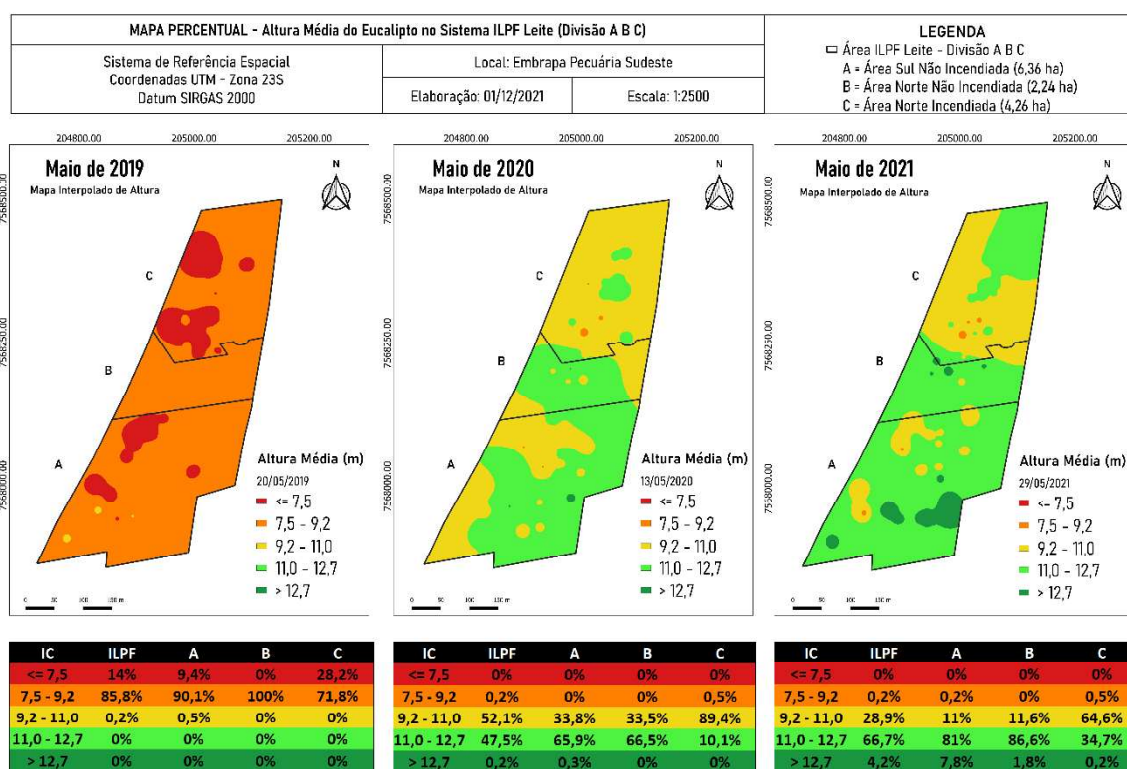
5. RESULTADOS

Através da aplicação do método de interpolação IDW, já explicado no tópico 4.3.1 desse relatório, foram elaborados três mapas de comparação histórica da evolução do crescimento das árvores de eucalipto presentes na área ILPF Leite, sendo um referente a altura, um referente ao DAP, e um referente ao volume das árvores do sistema.

5.1 Evolução da altura das árvores do sistema ILPF Leite

O primeiro produto elaborado foi um mapa comparativo da evolução de altura das árvores de eucalipto entre 2019 e 2021 (Figura 20).

Figura 20. Mapa Comparativo de altura das árvores de eucalipto do sistema ILPF Leite



Fonte: Produzido pelo autor (2021)

Observando a variabilidade espacial dos dados de altura pode-se perceber que em 2019 o crescimento das árvores se dava de maneira relativamente uniforme em toda a área do sistema ILPF Leite, com 85,8% das árvores apresentando altura entre 7,5 e 9,2 metros.

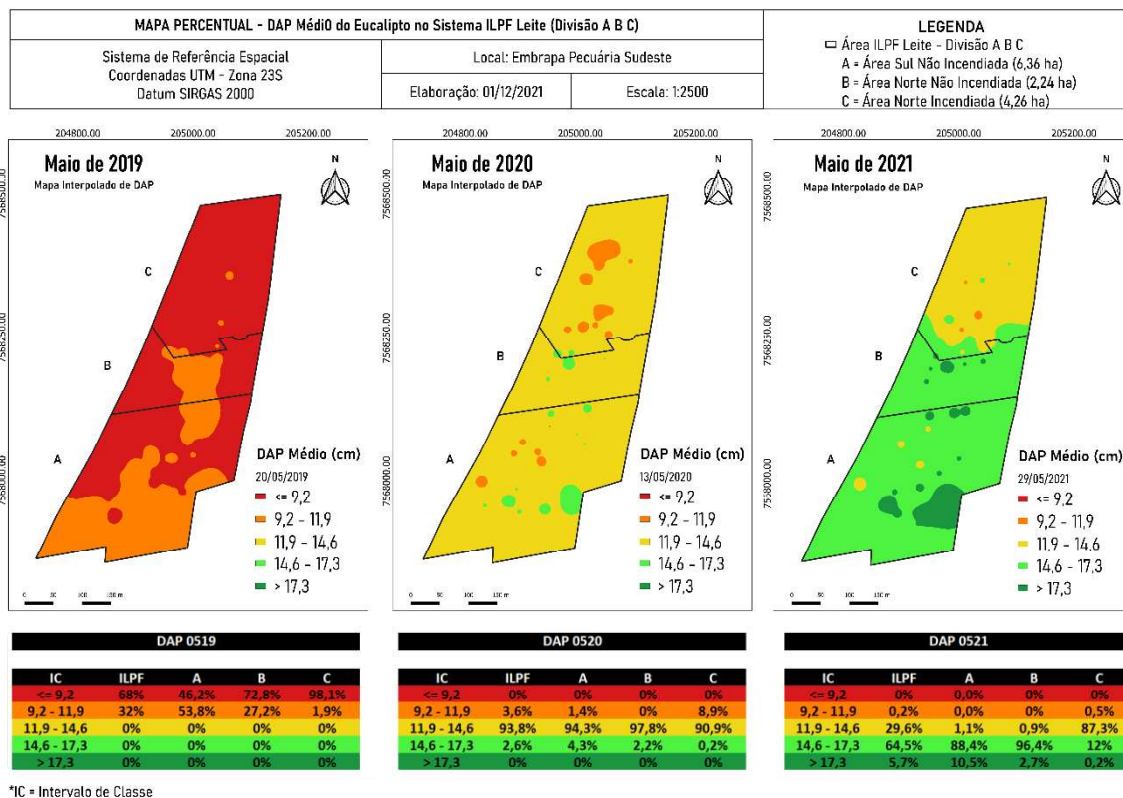
De 2019 para 2020, embora umas mais e outras menos, todas as árvores do sistema subiram de classe de crescimento, de forma que a classe inicial (vermelha) foi zerada, e a classe 2 (laranja) até então majoritária deu lugar às classes 3 (amarela) e 4 (verde claro), com 52,1% e 47,5% das árvores, respectivamente. É interessante observar que, já em 2020, antes do incêndio, a área norte do sistema (IPF) apresentava, em partes, um padrão de crescimento mais lento em comparação à área sul (ILPF).

Já de 2020, antes do incêndio, para 2021, após o incêndio, a altura das árvores passaram a se concentrar majoritariamente no intervalo de classe 4, de 11,0 a 12,7 metros de altura, nas áreas A e B, não queimadas, enquanto parte da área C, queimada, se manteve na mesma classe de altura do ano anterior, permanecendo com 9,2 a 11,0 metros. Por outro lado, é possível observar que as árvores presentes no canto superior direito da área incendiada (subdivisão C) conseguiram manter seu desenvolvimento em altura, seguindo o padrão de crescimento das áreas não atingidas pelo incêndio e passando da classe 3 (amarela) para a classe 4 (verde claro).

5.2 Evolução do DAP das árvores do sistema ILPF Leite

O segundo produto elaborado foi um mapa comparativo da evolução do DAP das árvores de eucalipto entre 2019 e 2021 (Figura 21).

Figura 21. Mapa Comparativo de DAP das árvores de eucalipto do sistema ILPF Leite



Fonte: Produzido pelo autor (2021)

Observando a variabilidade espacial dos dados de DAP pode-se perceber que em 2019 a maior parte das árvores do sistema, mais especificamente 68% delas, se encontravam no intervalo de classe inicial de desenvolvimento (vermelho), com um DAP menor ou igual a 9,2 cm. Ao mesmo tempo, é possível observar que parte das árvores presentes mais ao sul do sistema apresentavam um desenvolvimento mais elevado quanto ao seu diâmetro, ocupando a classe 2 (laranja) com DAP de 9,2 a 11,9 cm.

Em 2020 foi possível observar que a diferença de desenvolvimento das árvores fora praticamente sanada, as áreas norte e sul se equipararam quanto ao tamanho de seus diâmetros, de forma que 93,8% das árvores de todo o sistema se encontravam no intervalo de classes 2 (amarelo), apresentando diâmetros de 11,9 a 14,6 cm.

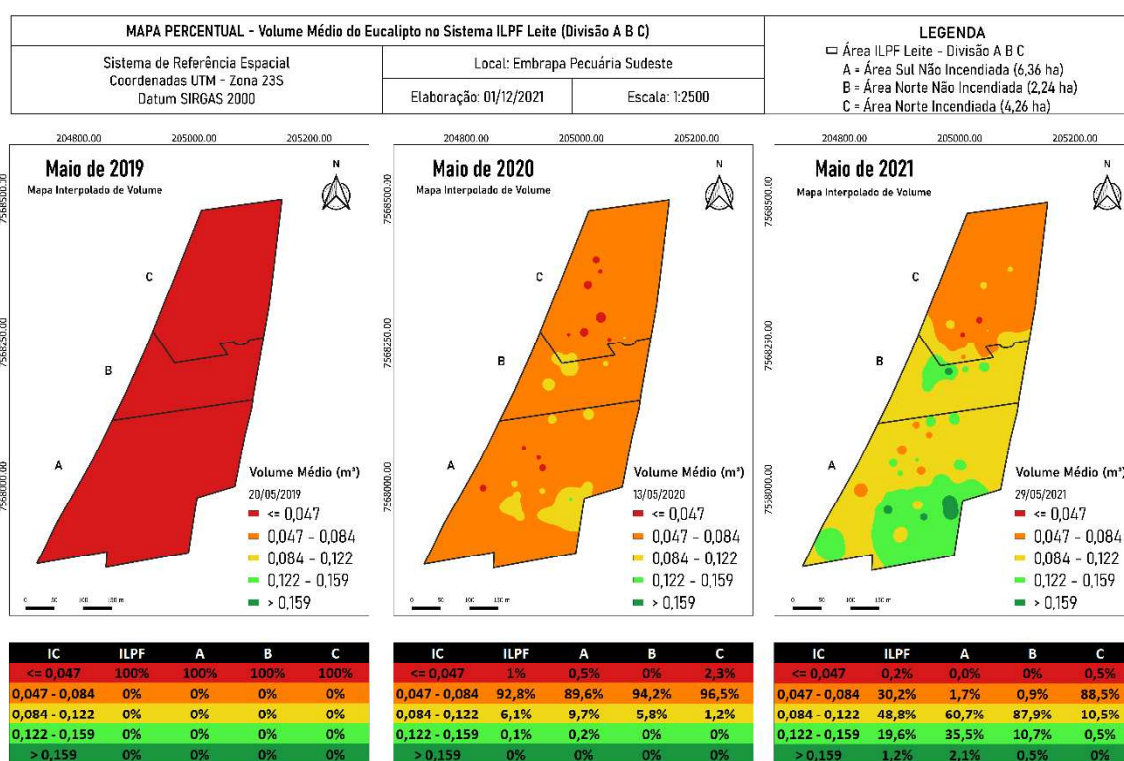
De 2020, antes do incêndio, para 2021, após o incêndio, foi possível constatar que as árvores presentes nas áreas A e B, não atingidas pelo incêndio, mantiveram sua taxa de desenvolvimento equiparadas, saído da classe 2 (amarela) em 2020 para atingir a classe 3 (verde claro) em 2021, passando a apresentar diâmetros de 14,6 a 17,3 cm. Por outro lado, as

árvores presentes na área C, afetadas pelo incêndio, não conseguiram acompanhar a taxa de desenvolvimento observada nas áreas não incendiadas e permaneceram da mesma classe que se encontravam em 2020, ainda com diâmetros de 11,9 a 14,6 cm.

5.3 Evolução do volume das árvores do sistema ILPF Leite

O terceiro produto elaborado foi um mapa comparativo da evolução do volume das árvores de eucalipto entre 2019 e 2021 (Figura 22).

Figura 22. Mapa Comparativo do volume das árvores de eucalipto do sistema ILPF Leite



*IC = Intervalo de Classe

Fonte: Produzido pelo autor (2021)

Observando a variabilidade espacial dos dados do volume pode-se perceber que em 2019 todas as árvores do sistema ILPF Leite, sem exceções, se encontravam no intervalo de classe inicial de desenvolvimento (vermelho), com um volume menor ou igual a 0,047 m³ de madeira por árvore.

Em 2020 foi possível notar que o desenvolvimento das árvores, com relação ao seu volume, se manteve em um padrão semelhante, de forma que 92,8% dos eucaliptos de todo o

sistema evoluíram da classe inicial (vermelha) em 2019 para a classe 2 (laranja) em 2020, apresentando um volume médio de 0,047 a 0,084 m³ de madeira por árvore.

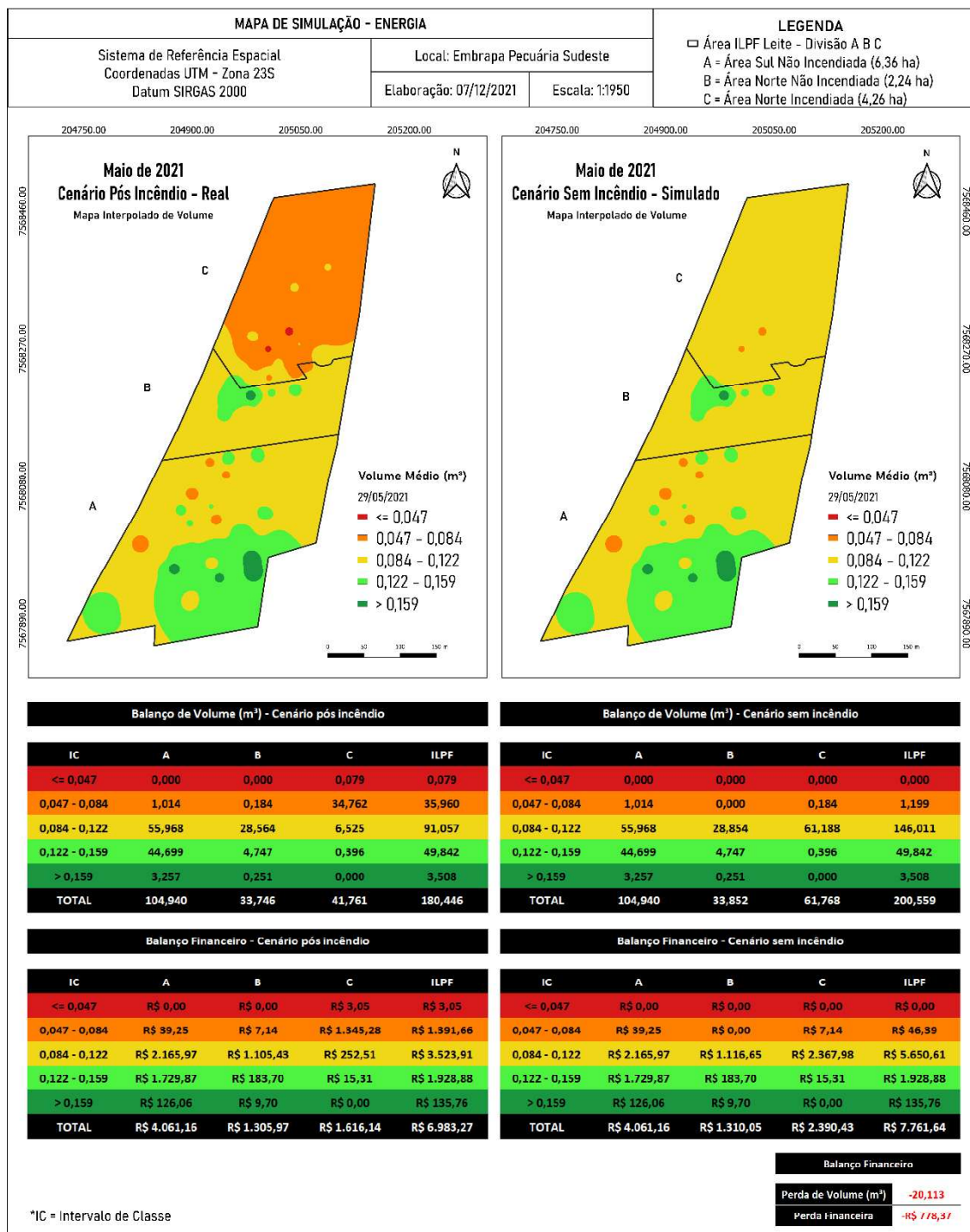
De 2020, antes do incêndio, para 2021, após o incêndio, foi possível verificar que o padrão de crescimento, que se mantia semelhante até então, fora significativamente alterado. Embora a maior parte do sistema (48,8%) se manteve no padrão esperado, subindo um nível de classe, da classe 2 (laranja) para a classe 3 (amarela), nas áreas A e B, a área C, afetada pelo incêndio, travou seu desenvolvimento e se manteve no mesmo nível de volume de madeira do ano anterior, enquanto as árvores presentes mais ao sul do sistema foram capazes de subir dois níveis de desenvolvimento em relação ao ano anterior, passando da classe 2 (laranja) para a classe 4 (verde claro), apresentando assim um volume médio de 0,122 a 0,159 m³ de madeira por árvore.

5.4 Balanço geral do efeito do fogo

Após ser constatado que o fogo, de fato, retardou o desenvolvimento das árvores de eucalipto atingidas pelo incêndio, foi realizado um balanço de perda de volume e, consequentemente, de lucro causada pelo incidente. As perdas foram simuladas em dois cenários, sendo o primeiro voltado para um destino mais simples, a venda da madeira para energia, e o segundo para um destino mais nobre, a venda da madeira para serraria. Vale lembrar que todos os cálculos realizados para chegar aos valores que serão apresentados a seguir foram devidamente explicados no tópico 4.4 deste relatório.

O primeiro mapa gerado foi referente a simulação da venda da madeira de eucalipto para o mercado de energia, conforme apresentado na Figura 23.

Figura 23. Mapa de Balanço Financeiro - Madeira para Energia



Fonte: Produzido pelo autor (2021)

No cenário real, pós incêndio, a área total do sistema ILPF Leite apresentou um volume total de 180,446 m³ de madeira de eucalipto, desse total, 138,686 m³ estão sendo gerados pela área do sistema não atingida pelo incêndio (Subdivisões A e B), enquanto 41,761 m³ estão na

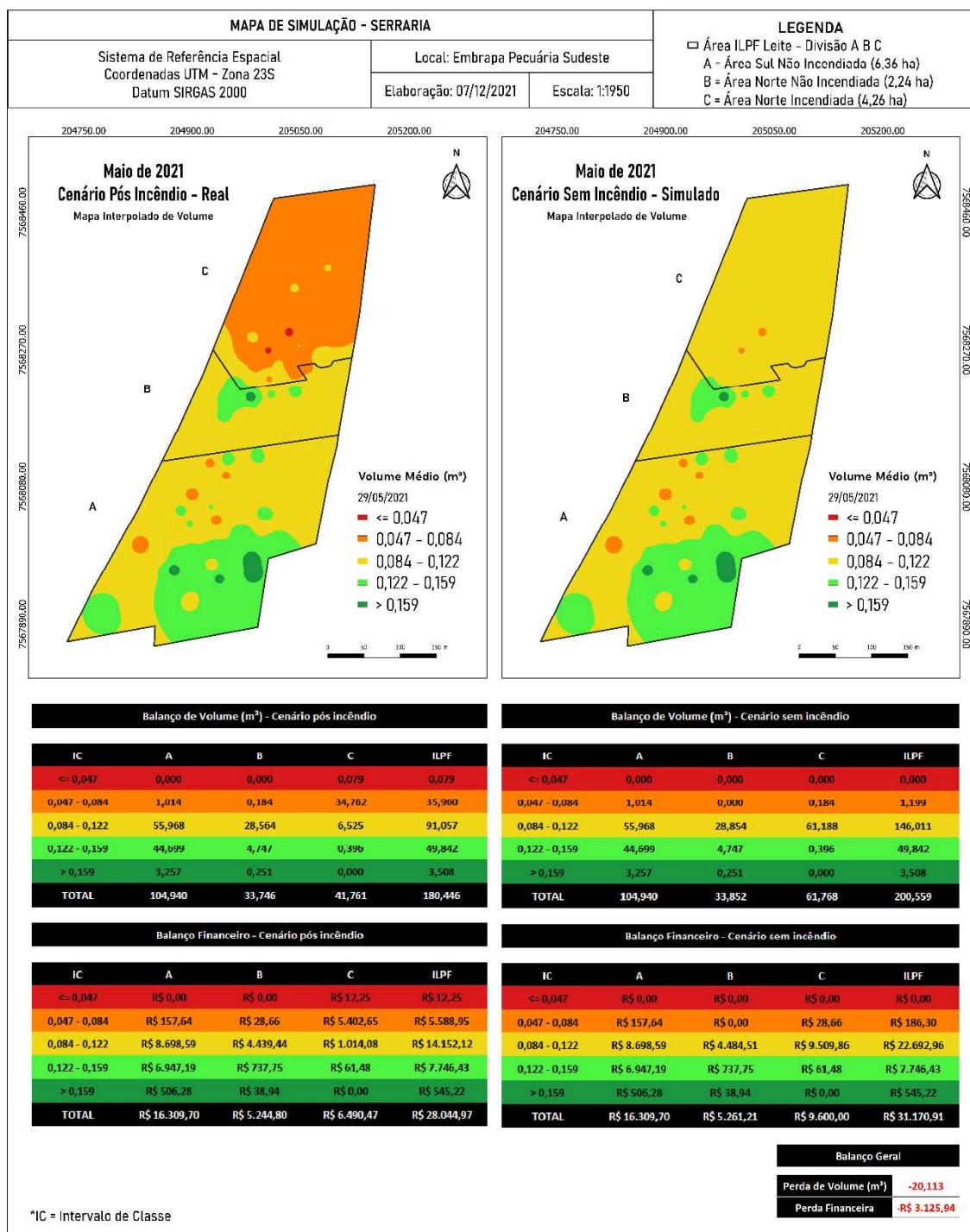
área atingida pelo incêndio (Subdivisão C). Levando em conta que o valor de mercado adotado para venda de madeira de eucalipto destinada à energia é de R\$ 38,70 (IEA, 2018), todas as árvores do sistema, juntas, então rendendo um total de R\$ 6.983,27.

No cenário simulado, no qual o incêndio não teria ocorrido, as árvores da subdivisão C manteriam o padrão de desenvolvimento observado no restante do sistema, subindo de classe ano a ano sem ter seu crescimento retardado. Nesse cenário, é estimado que a área total do sistema ILPF Leite apresentaria um volume total de 200,599 m³ de madeira de eucalipto, desse total, 138,792 m³ estariam sendo gerados pelas subdivisões A e B do sistema, enquanto 61,768 m³ estariam na subdivisão C. Mais uma vez, levando em conta que o valor de mercado adotado para venda de madeira de eucalipto destinada à energia é de R\$ 38,70/m³ (IEA, 2018), todas as árvores do sistema, juntas, estariam rendendo aproximadamente R\$ 7.761,64.

Comparando os dois cenários, pós-incêndio e sem incêndio, é possível estimar uma perda de 20,133 m³ de madeira no sistema. Relacionando esse valor perdido com os valores estimados, foi constatado que o incêndio causou uma perda, em volume, de 33% na área incendiada (subdivisão C) e 10% na área total do sistema ILPF Leite. Financeiramente falando, houve uma perda de R\$ 778,37 em um cenário em que a madeira fosse vendida para geração de energia.

O segundo mapa gerado foi referente a simulação da venda da madeira de eucalipto para o mercado de serraria, conforme apresentado na Figura 24.

Figura 24. Mapa de Balanço Financeiro - Madeira para Serraria



Fonte: Produzido pelo autor (2021)

Por se tratar da mesma área, o volume total de madeira calculado no cenário real (pós-incêndio) e simulado (sem incêndio) são os mesmos do cenário de venda para geração de energia, apresentado anteriormente, mantendo-se assim 180,446 m³ de madeira total no cenário

real, e 200,599 m³ de madeira total no cenário simulado. Entretanto, devido a mudança no destino de venda, houve mudanças nos valores financeiros desse segundo cenário.

Por se tratar de um destino mais nobre e com maior valor agregado, o preço médio de mercado para venda de madeira de eucalipto destinada à serraria é de cerca de R\$ 155,42/m³ (IEA, 2018), dessa forma, todas as árvores do sistema, juntas, estão rendendo aproximadamente R\$ 28.044,97 no cenário real, pós-incêndio, e estariam rendendo cerca de R\$ 31.171,91 em um cenário no qual o incêndio não estivesse acontecido.

Comparando os dois cenários, pós-incêndio e sem incêndio, é possível estimar a mesma perda de 20,133 m³ de madeira no sistema, o equivalente a uma perda de volume de 33% na área incendiada (subdivisão C) e 10% na área total do sistema ILPF Leite, assim como demonstrado no cenário de venda para energia. Financeiramente, houve uma perda de R\$ 3.125,94 em um cenário em que a madeira fosse vendida para serraria.¹

¹ Conforme informado nas figuras 18 e 19, todos os cálculos de volume e preço foram realizados de forma automatizada no Excel, através da criação de fórmulas. Para melhor visualização dos resultados, os valores finais apresentados tiveram suas casas decimais ocultas (não excluídas) para zero, duas ou três casas, o que significa que o software ainda utilizou todas as casas decimais para realizar as contas, inclusive as que foram ocultas, garantindo uma melhor precisão nos resultados. Devido a isso, poderá haver uma pequena diferença de resultados caso os cálculos sejam realizados manualmente, utilizando-se apenas as casas decimais visíveis nesse relatório.

6. CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos, foi possível verificar que houve um atraso significativo no desenvolvimento das árvores de eucalipto presentes na área atingida pelo incêndio, principalmente com relação ao seu DAP, altura, e consequentemente no volume, quando comparadas com as árvores localizadas nas áreas não atingidas. Em um cenário simulado, estimou-se que o fogo causou uma perda de 10% do volume total de madeira presente no sistema ILPF Leite, o equivalente a 20,133 m³ de eucalipto. Financeiramente, houve uma perda média de R\$ 778,37 no cenário em que a madeira seria vendida para uma destinação simples, a geração de energia, e uma perda média de R\$ 3.125,94 no cenário em que a madeira seria vendida para uma destinação mais nobre, como para serraria.

Assim, os resultados apresentados indicam que o fogo pode causar danos significativos em sistemas de produção controlados, como o caso do ILPF Leite, afetando a taxa de crescimento e desenvolvimento das árvores, acarretando uma perda significativa na produção de madeira do sistema.

Por fim, os resultados obtidos ressaltaram a importância do geoprocessamento no monitoramento de sistemas de produção agropecuários, possibilitando a coleta e análise de dados georreferenciados, a interpretação de resultados, o dimensionamento de danos e subsidiando a tomada de decisões para contornar ou evitar possíveis repetições de eventos prejudiciais à saúde do sistema.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, R. N. B.; MODESTO JUNIOR, M. de S. Roça sem fogo: da tradição das queimadas à agricultura sustentável na Amazônia. **Embrapa Amazônia Oriental-Livro técnico (INFOTECA-E)**, 2020.

ARAUJO, Henrique José Borges de; MAGALHÃES, Washington Luiz Esteves; OLIVEIRA, Luís Cláudio de. Durabilidade de madeira de eucalipto citriodora (*Corymbia citriodora* (Hook.) KD Hill & LAS Johnson) tratada com CCA em ambiente amazônico. **Acta Amazônica**, v. 42, p. 49-58, 2012.

BALBINO, Luiz Carlos et al. Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, 2011.

BALBINO, Luiz Carlos; BARCELLOS, A. de O.; STONE, Luiz Fernando. Marco referencial: integração lavoura-pecuária-floresta. **Embrapa Cerrados-Livro científico (ALICE)**, 2011.

BALBINO, Luiz Carlos et al. Sistemas de integração: o que são, suas vantagens e limitações. **Embrapa Gado de Corte-Capítulo em livro científico (ALICE)**, 2012.

BARBIERI, Diogo M.; MARQUES JÚNIOR, José; PEREIRA, Gener T. Variabilidade espacial de atributos químicos de um Argissolo para aplicação de insumos à taxa variável em diferentes formas de relevo. **Engenharia Agrícola**, v. 28, p. 645-653, 2008.

BERNARDI, AC de C. et al. Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar. **Embrapa Instrumentação-Livro técnico (INFOTECA-E)**, 2014.

BERNARDI, AC de C. et al. OTIMIZAÇÃO DO USO DE INSUMOS EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA COM FERRAMENTAS DE AGRICULTURA DE PRECISÃO. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 13, n. 4, p. 290-300, 2019.

BRASIL. Decreto Federal nº 23.793 de janeiro de 1934. Decreta o código florestal. Brasília, DF, 1934. Disponível em <www.planalto.gov.br>. Acesso em: 14/12/2021.

BRASIL. Decreto Federal nº 4.771 de 15 de setembro de 1965. Institui o código florestal brasileiro. Brasília, DF, 1965. Disponível em <www.planalto.gov.br>. Acesso em: 14/12/2021.

BRASIL. Decreto Federal nº 12.651 de 25 de maio de 2012. Institui o Novo Código Florestal Brasileiro. Brasília, DF, 2012. Disponível em <www.planalto.gov.br>. Acesso em: 14/12/2021.

BUENO, J. O. A. **Estimativa de altura utilizando imagens obtidas por drone em sistema integrado de produção agropecuária**. 2021. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2021.

CABRAL, Ana Luísa Alves; MORAS FILHO, Luiz Otávio; BORGES, Luís Antônio Coimbra. USO DO FOGO NA AGRICULTURA: LEGISLAÇÃO, IMPACTOS AMBIENTAIS E REALIDADE NA AMAZÔNIA. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 9, n. 5, 2013.

CALDERANO FILHO, B. et al. **Os solos da Fazenda Canchim, Centro de pesquisa de Pecuária do Sudeste, São Carlos, SP: levantamento semidetalhado, propriedade e potenciais**. Embrapa-CNPS/São Carlos, 1998.

CAMARGO, Eduardo Celso Gerbi. Geoestatística: fundamentos e aplicações. **Geoprocessamento para projetos ambientais**. São José dos Campos: INPE, v. 29, 1998.

CAMPOS, Sérgio et al. Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao uso da terra em microbacias hidrográficas, Botucatu-SP. **Engenharia Agrícola**, v. 24, n. 2, p. 431-435, 2004.

Centro Científico Conhecer – CCC, 2020. **Técnicas e Instrumentos de Medição de Árvores**. Disponível em: < <http://www.conhecer.org.br/download/inventario/Modulo%20I%20-%20Dendrometria.pdf>>. Acesso em 14 de dezembro de 2021.

Centro de Inteligência em Florestas – CIF, 2008. **Sistemas Agroflorestais**. Disponível em: < <http://www.ciflorestas.com.br/texto.php?p=sistemas#:~:text=Sistemas%20agroflorestais%20s%C3%A3o%20formas%20de,promovem%20benef%C3%ADcios%20econ%C3%B4micos%20e%20ecol%C3%B3gicos>>. Acesso em 14 de dezembro de 2021.

CIPRIANI, H. N.; VIEIRA, A. H.; GODINHO, V. Fatores de forma para eucaliptos em Vilhena, Rondônia. **Embrapa Rondônia-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 2015.

COCHRANE, Mark A. Fire science for rainforests. **Nature**, v. 421, n. 6926, p. 913-919, 2003.

COELHO, Antônio Marcos. Agricultura de precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e culturas. **Embrapa Milho e Sorgo-Documents (INFOTECA-E)**, 2005.

CUNHA, Jurandy Mourão da. Processos de implantação e vantagens do sistema Integração Lavoura, Pecuária e Floresta (ILPF), 2012.

CORTE, Ana Paula et al. DESEMPENHO DE DIFERENTES EQUIPAMENTOS PARA MENSURAÇÃO DE DIÂMETRO A 1,30 m, ALTURA INDIVIDUAL TOTAL, E VOLUME DO FUSTE EM *Cryptomeria japonica* (Thunb. ex L. f.) D. Don. **Enciclopédia Biosfera**, v. 13, n. 23, 2016.

COSTA, Yasmmin Tadeu; RODRIGUES, Silvio Carlos. Efeito do fogo sobre vegetação e solo a partir de estudo experimental em ambiente de cerrado. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 30, p. 149-165, 2015.

FILIPPINI ALBA, J. M. Modelagem SIG em agricultura de precisão: conceitos, revisão e aplicações. **Embrapa Clima Temperado-Capítulo em livro científico (ALICE)**, 2014.

Food and Agriculture Organization - FAO. **FAO Alerta Sobre Degradação de um terço dos solos do planeta**. ONU News, 2021. Disponível em: <<https://news.un.org/pt/story/2021/12/1773222>>. Acesso em: 14 de dezembro de 2021.

GOLDAMMER, Johann G. Forests on fire. **Science**, v. 284, n. 5421, p. 1782-1783, 1999.

GOOVAERTS, Pierre et al. **Geostatistics for natural resources evaluation**. Oxford University Press on Demand, 1997.

HIGA, Rosana Clara Victoria; MORA, Admir Lopes; HIGA, Antonio Riroyei. **Plantio de eucalipto na pequena propriedade rural**. Curitiba: Embrapa Florestas, 2000.

IBRAHIM, FRANCINI IMENE DIAS. **Introdução ao geoprocessamento ambiental**. Saraiva Educação SA, 2014.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, 2021. Atlas Escolar. **Sensoriamento remoto**. Disponível em: <<https://atlasescolar.ibge.gov.br/conceitos-gerais/o-que-e-cartografia/sensoriamento-remoto.html>>. Acesso em: 14 de dezembro de 2021.

Instituto de Economia Agrícola – IEA, 2018. **Preço do Eucalipto**. Disponível em: <<https://www.noticiasagricolas.com.br/cotacoes/silvicultura/preco-eucalipto>>. Acesso em 10 de dezembro de 2021.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, 2006. **Introdução ao Geoprocessamento**. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/introducao_geo.html>. Acesso em 07 de fevereiro de 2021.

JENSEN, John R. **Introductory digital image processing: a remote sensing perspective**. Univ. of South Carolina, Columbus, 1986.

KRIGE, Daniel G. A statistical approach to some basic mine valuation problems on the Witwatersrand. **Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy**, v. 52, n. 6, p. 119-139, 1951.

LAGE, Paula Betânia. IMPACTOS AMBIENTAIS GERADOS PELA PRODUÇÃO AGRÍCOLA: UMA REVISÃO. **NAWA**, v. 2, n. 2, 2017.

LILLESAND, Thomas; KIEFER, Ralph W.; CHIPMAN, Jonathan. **Remote sensing and image interpretation**. John Wiley & Sons, 2015.

MACDICKEN, Kenneth G. et al. **Agroforestry: classification and management**. John Wiley & Sons, 1990.

MACEDO, Renato Luiz Grisi. **Princípios básicos para o manejo sustentável de sistemas agroflorestais**. UFLA: FAEPE, 2000.

Manual do QGIS - Versão 3.22, 2021. Spatial Analysis (Interpolation). Disponível em: <https://docs.qgis.org/3.22/en/docs/gentle_gis_introduction/spatial_analysis_interpolation.html?highlight=interpolation>. Acesso em 10 de dezembro de 2021.

MEDINA, Juliana, 2018. **Sistemas agroflorestais: conheça 10 benefícios desse sistema.** Disponível em: <<https://agropos.com.br/sistemas-agroflorestais/>>. Acesso em 10 de dezembro de 2021.

MENDES, L. G. **Guia para iniciantes sobre Agricultura de Precisão (AP)**, 2018. Disponível em: <<https://blog.aegro.com.br/agricultura-de-precisao/>>. Acesso em 05 de fevereiro de 2021.

MIRANDA, M. I. **Efeitos de diferentes regimes de queima sobre a comunidade de gramíneas do Cerrado.** UnB, 2002.

MIRANDA, M. I.; KLINK, C. A. Colonização de campo sujo de cerrado com diferentes regimes de queima pela gramínea *Echinolaena inflexa* (Poaceae). **Impactos de queimadas em áreas de Cerrado e de Restinga. Brasília: Universidade de Brasília**, p. 46-52, 1996.

MOLIN, José Paulo. Desafios da agricultura brasileira a partir da agricultura de precisão. **Simpósio sobre rotação soja/milho no plantio direto**, v. 3, p. 49-59, 2002.

MUÑOZ-ROJAS, Miriam et al. Soil respiration dynamics in fire affected semi-arid ecosystems: Effects of vegetation type and environmental factors. **Science of the Total Environment**, v. 572, p. 1385-1394, 2016.

NAIR, P.K.R. Soil Productivity **Aspects of Agroforestry. International Council for Research in Agroforestry**, Nairobi, 1984.

OLIVEIRA, F. L. R. et al. Integração lavoura-pecuária-floresta: conceitos, componentes e possibilidades. **Integração Lavoura-Pecuária-Floresta: Alternativa para Produção Sustentável nos Trópicos. Montes Claros: ICA/UFMG**, 2010.

OLIVEIRA, Ximena et al. Precisão e tempo de operação de alguns instrumentos para medir altura de árvores. **Enciclopédia Biosfera**, v. 10, n. 18, 2014.

OLIVEIRA, Ronaldo Pereira de; GREGO, Célia Regina; BRANDÃO, Ziany Neiva. Geoestatística aplicada na agricultura de precisão utilizando o Vesper. **Embrapa Solos-Livro técnico (INFOTECA-E)**, 2015.

PEZZOPANE, José Ricardo Macedo et al. Forage productivity and nutritive value during pasture renovation in integrated systems. **Agroforestry Systems**, v. 93, n. 1, p. 39-49, 2019.

PIERCE, Francis J.; NOWAK, Peter. Aspects of precision agriculture. **Advances in agronomy**, v. 67, p. 1-85, 1999.

REDIN, Marciel et al. Impactos da queima sobre atributos químicos, físicos e biológicos do solo. **Ciência Florestal**, v. 21, p. 381-392, 2011.

REES, William Gareth. **Physical principles of remote sensing**. Cambridge university press, 2013.

RESENDE, A. V. et al. Agricultura de precisão no Brasil: avanços, dificuldades e impactos no manejo e conservação do solo, segurança alimentar e sustentabilidade. In: **Embrapa Pecuária Sudeste-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 18., 2010, Novos caminhos para agricultura conservacionista no Brasil: anais. Teresina, PI: Embrapa Meio-Norte: Universidade Federal do Piauí, 2010.

ROLIM, Glauco de Souza et al. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o estado de São Paulo. **Bragantia**, v. 66, p. 711-720, 2007.

SALMONA, Yuri, 2018. “**O que é Geoprocessamento, SIG e Sensoriamento Remoto? Tem diferença?**”. Disponível em: <<https://www.espectrogeo.com.br/o-que-e-geoprocessamento-sig-e-sensoriamento-remoto-tem-diferenca/>>. Acesso em 07 de fevereiro de 2021.

SILVA, José Adailton Barroso et al. **Teorias demográficas e o crescimento populacional no mundo**. Caderno de Graduação-Ciências Humanas e Sociais-UNIT-SERGIPE, v. 2, n. 3, p. 113-124, 2015.

SILVESTRE, Miriam Rodrigues. Técnicas estatísticas utilizadas em climatologia geográfica: diagnóstico e propostas. 2016.

SRIVASTAVA, R. M. Describing spatial variability using geostatistics analysis. In: SRIVASTAVA, R. M.; ROUHANI, S.; CROMER, M. V.; JOHNSON, A. I.; DESBARATS, A. J. (Ed.). **Geostatistics for environmental and geotechnical applications**. West Conshohocken: ASTM, 1996. p. 13-19.

STEFFENSEN, Johan Frederik. **Interpolation**. Courier Corporation, 2006.

VALERI, S.V.; POLITANO, W; SENO, K.C.A.; BARRETO, A.L.N.M. **Manejo e recuperação Florestal**. Jaboticabal, Funep, 180 p. 2003.

VARELLA, C. A. A.; JUNIOR, D. G. S. **Estudo do Interpolador IDW do ArcView para Utilização em Agricultura de Precisão**. Departamento de Engenharia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2008.

VIEIRA, Sidney Rose et al. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. **Tópicos em ciência do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 1, p. 1-53, 2000.

YAMAMOTO, Jorge Kazuo; LANDIM, Paulo M. Barbosa. **Geoestatística: conceitos e aplicações**. Oficina de textos, 2015.

YANG, Wenjie et al. Using principal components analysis and IDW interpolation to determine spatial and temporal changes of surface water quality of Xin'anjiang river in Huangshan, China. **International journal of environmental research and public health**, v. 17, n. 8, p. 2942, 2020.

YARED, J. A. G.; BRIENZA JÚNIOR, S.; MARQUES, L. C. T. Agrossilvicultura: conceitos, classificação e oportunidades para aplicação na Amazônia brasileira. **Embrapa Amazônia Oriental-Documentos (INFOTECA-E)**, 1998.