

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL**

Letícia Daiane Pedrali

**APLICAÇÃO DE SENSOR MULTIESPECTRAL A BORDO DE VANT
NA DETERMINAÇÃO DE GRAUS DE SEVERIDADE DE *Erwinia psidii*
EM *Eucalyptus urograndis***

**Santa Maria, RS
2017**

Letícia Daiane Pedrali

**APLICAÇÃO DE SENSOR MULTIESPECTRAL A BORDO DE VANT NA
DETERMINAÇÃO DE GRAUS DE SEVERIDADE DE *Erwinia psidii* EM
*Eucalyptus urograndis***

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, área de concentração Manejo Florestal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Engenharia Florestal**.

Orientador: Prof. Dr. Rudiney Soares Pereira

Santa Maria, RS
2017

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Pedrali, Leticia Daiane
APLICAÇÃO DE SENSOR MULTIESPECTRAL A BORDO DE VANT NA
DETERMINAÇÃO DE GRAUS DE SEVERIDADE DE *Erwinia psidii* EM
Eucalyptus urograndis / Leticia Daiane Pedrali.- 2017.
91 p.; 30 cm

Orientador: Rudiney Soares Pereira
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Florestal, RS, 2017

1. Sensoriamento remoto 2. *Eucalyptus urograndis* 3.
Erwinia psidii 4. índices de vegetação I. Pereira, Rudiney
Soares II. Título.

© 2017

Todos os direitos reservados à Letícia Daiane Pedrali. A reprodução das partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

E-mail: lepedrali@yahoo.com.br

Letícia Daiane Pedrali

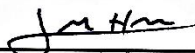
**APLICAÇÃO DE SENSOR MULTIESPECTRAL A BORDO DE VANT NA
DETERMINAÇÃO DE GRAUS DE SEVERIDADE DE *Erwinia psidii* EM
*Eucalyptus urograndis***

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, área de concentração em Manejo Florestal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Engenharia Florestal**.

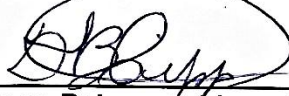
Aprovado em 22 de fevereiro de 2017:



Rudiney Soares Pereira, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)



Élvis Rabuske Hendges (UNIOESTE)



Diogo Belmonte Lippert (UFSM)

Santa Maria, RS
2017

AGRADECIMENTOS

À Deus, onde busca força. Fonte inesgotável da minha fé.
À minha mãe Yemanjá onde busco consolo e aconselhamento nos momentos difíceis.
À Eles agradeço imensamente as minhas conquistas e todo aprendizado adquirido no caminho até alcançá-las.
À minha família, em especial a minha mãe Márcia e minha irmã Patrícia, que sempre me apoiaram nas minhas decisões e não mediram esforços para ajudar-me a alcançar os meus objetivos. Ao meu avô Alfredo, a quem tenho especial afeição e admiração, que sempre teve uma palavra sábia a me dizer.
Ao meu namorado Ricardo, por todo amor, paciência e carinho, por todo incentivo. Por ter se tornado o meu porto seguro e o meu refúgio.
Às amigas Patrícia e Camila que mesmo distante sempre estiveram presentes e nos momentos de dificuldade sempre vinham com as melhores palavras para me confortar.
Às colegas de apartamento, Lucimara, Camila e Aline, pela compreensão, companheirismo e respeito mútuo.
Aos colegas do LABSERE, Juliana Tramontina, Juliana Marchesan, Elisiane Alba, Eliziane Mello, Tiago L. Badin e Fábio Batista, pelo convívio, amizade e troca de experiências. Sem dúvida vocês contribuíram muito para a minha formação.
Aos professores Ervandil, Antoninho, Diogo e Ana pela ajuda e esclarecimentos nos momentos de dúvida.
Ao meu orientador Professor Dr. Rudiney Soares Pereira, pela oportunidade, confiança e orientação neste trabalho.
À Universidade Federal de Santa Maria, ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Florestal e seus docentes que contribuíram à minha formação profissional.
À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro, através da concessão de bolsa de estudos.
À empresa CMPC Rio Grande Celulose pela concessão das imagens aéreas, da área para a realizar essa pesquisa e pelo apoio na coleta de dados à campo.
A todos aqueles que direta ou indiretamente colaboraram para realização deste trabalho.
Muito obrigada!

*“Toda quietude revela sabedoria
Não tem valia a pretensão de se dizer
Pois cada um melhora um pouco a cada dia
E a gente sempre vai ter coisas pra aprender”*

(Zeca Alves e Érlon Péricles / Partic: Pedrinho Ribas/ Inter: Pirisca Grecco)

RESUMO

APLICAÇÃO DE SENSOR MULTIESPECTRAL A BORDO DE VANT NA DETERMINAÇÃO DE GRAUS DE SEVERIDADE DE *Erwinia psidii* EM *Eucalyptus urograndis*

AUTORA: Letícia Daiane Pedrali
ORIENTADOR: Rudiney Soares Pereira

O conhecimento das perdas causadas por doenças no campo é considerado um dos mais importantes fatores no manejo integrado de doenças em *Eucalyptus*. A seca de ponteiros causada por *Erwinia psidii* tem despontando como uma das principais doenças em plantios comerciais de eucalipto. O objetivo deste trabalho foi desenvolver uma metodologia de processamento e análise de imagens obtidas por sensor multiespectral embarcado em VANT, para auxiliar na caracterização da resposta espectral de *Eucalyptus urograndis* com incidência da bactéria *Erwinia psidii*, visando a discriminação e reconhecimento dos níveis de severidades da doença em plantios florestais. O povoamento avaliado localiza-se no município de Minas do Leão – RS, onde foi realizado o voo com VANT equipado com câmera multiespectral. Na etapa de campo realizou-se a avaliação de uma parcela de monitoramento da doença, onde o nível 1) sem ocorrência da doença; 2) pequena ocorrência da doença: menos de 30% da árvore; 3) média ocorrência da doença: até 50% da árvore; 4) alta ocorrência da doença: acima de 50% da árvore. O voo resultou em duas imagens, uma RGB e uma multiespectral. As copas das árvores da parcela de monitoramento foram vetorizadas manualmente e classificadas conforme o levantamento de campo. Foram calculados onze índices de vegetação para as copas, comparados nos diferentes níveis de severidade e avaliados a partir de testes estatísticos paramétricos e não paramétricos. Os testes indicaram que o Índice de Reflectância de Senescência das Plantas (PSRI) é o mais adequado para diferenciar os níveis de severidade da doença causada pela *Erwinia psidii* em plantios de *Eucalyptus urograndis*. A medida que a severidade aumenta, ocorre o aumento do PSRI nas diferentes bandas, exceto na banda do IVP. O comportamento espectral simulado mostrou que as árvores de nível 4 de severidade possuem reflectância superior aos outros níveis nas bandas verde, vermelha e *RedEdge* da imagem multiespectral. A área absolutamente saudável do talhão representou a 30,38% de sua área total, enquanto a área com algum nível de severidade da doença correspondeu a 52,14%. A área restante correspondeu a regiões com baixa cobertura de folhas, início de transição para solo exposto, áreas de solo exposto, entrelinhas e falhas de plantio. Esse trabalho caracteriza uma inovação na forma convencional de quantificar e detectar a presença dos sinais de patógenos em área florestal. O resultado encontrado neste trabalho indica que a grande vantagem o uso de VANTs na silvicultura é o aumento da resolução espacial e temporal, permitindo a análise das copas individualizadas, além de sua facilidade de manuseio e rapidez na aquisição de dados.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto. *Eucalyptus urograndis*. Índices de vegetação. *Erwinia psidii*.

ABSTRACT

APPLICATION OF MULTISPECTRAL SENSOR ON BOARD OF THE UAV IN DETERMINATION OF SEVERITY DEGREES OF *Erwinia psidii* IN *Eucalyptus urograndis*

AUTHOR: Letícia Daiane Pedrali
ADVISOR: Rudiney Soares Pereira

Awareness of losses caused by diseases in the field is considered one of the most important factors in the integrated management of diseases in *Eucalyptus*. *Erwinia psidii* die-back has been reported as one of the major diseases in commercial eucalyptus plantations. The objective of this work was to develop a methodology for the processing and analysis of images obtained by the multispectral sensor in the UAV, so to assist in the characterization of the spectral response of *Eucalyptus urugrandis* with incidence of the bacterium *Erwinia psidii*, aiming at discrimination and recognition of levels of disease severity in forest plantations. The assessed settlement is located in the municipality of Minas do Leão - RS, where the flight was carried out with a UAV equipped with a multispectral camera. In the field, the assessment of a portion of disease monitoring was carried out, in which level 1) without occurrence of the disease; 2) small occurrence of the disease: less than 30% of the tree; 3) average occurrence of the disease: up to 50% of the tree; 4) high occurrence of the disease: over 50% of the tree. The flight resulted in two images, one RGB and one multispectral, from which the simulated spectral behavior in the different sensor bands was extracted. The treetops of the monitored portion were manually vectored and classified according to the field survey. Eleven vegetation rates were calculated for the treetops, compared at different levels of severity, and evaluated using parametric and non-parametric statistical tests. These indicated that the Plant Senescence Reflectance Index (PSRI) is the most adequate to differentiate the severity levels of the disease caused by *Erwinia psidii* in plantations of *Eucalyptus urugrandis*. As the severity increases, the PSRI increases in the different bands, except in the IVP band. The simulated spectral behavior showed that the severity level 4 trees have higher reflectance than the other levels in the green, red and *RedEdge* bands of the image Multispectral. The absolutely healthy area of the field represented only 30.38% of its total area, while the area with some degree of disease severity corresponded to 52.14%. The remaining area corresponded to regions with low leaf cover, early transition to exposed soil, exposed soil areas, between lines and planting failures. This work characterizes an innovation in the conventional way of quantifying and detecting the presence of pathogen signals in the forest area. The result found in this work indicates that the great advantage of the use of UAVs in forestry is the increase of the spatial and temporal resolution, allowing the analysis of the individualized treetops, besides its ease of handling and speed in the acquisition of data.

Keywords: Remote sensing, *Eucalyptus urograndis*; Vegetation rates; *Erwinia psidii*;

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Folhas jovens de <i>Eucalyptus urograndis</i> com sintomas de <i>Erwinia psidii</i> A) Secamento de folhas jovens e anasarca em folha madura B) Folhas jovens secas e encarquilhadas.	21
Figura 2 - Reflectância espectral característica de folha verde sadia, para o intervalo de onda entre 0,4 e 2,6 μm	31
Figura 3 - Localização da área de estudo, talhão 006F, Horto Florestal Pillar.	38
Figura 4 - Representação esquemática dos níveis de severidade A) árvore saudável B) pequena ocorrência da doença C) média ocorrência da doença D) alta ocorrência da doença E) árvore morta.	39
Figura 5 - Localização da parcela de monitoramento dentro da área de estudo.	40
Figura 6 - VANT utilizado no levantamento aéreo.	41
Figura 7 - Sensor Parrot Sequoia MicaSense.	42
Figura 8 - Fluxograma das atividades realizadas neste estudo.	47
Figura 9 - Níveis de severidade da doença encontrados em campo. A) sem ocorrência da doença B) pequena ocorrência C) média ocorrência D) alta ocorrência.	49
Figura 10 - Detalhe dos sintomas de <i>E. psidii</i> em <i>Eucalyptus urograndis</i> A) Secamento de folhas jovens B) Arrocheamento no pecíolo e nervura principal em folha madura comparada com uma folha sem sintoma da doença.	50
Figura 11 - Imagem multiespectral (composição das bandas verde, vermelho, RedEdge e IVP), do talhão 006F, adquirida em 08/07/16.	51
Figura 12 - Imagem RGB (composição das bandas vermelha, verde e azul) do talhão 006F, adquirida em 08/07/16.	52
Figura 13 - Divisão da imagem em bandas espectrais do sensor multibandas Parrot Sequoia MicaSense.	53
Figura 14 - Vetorização manual das copas e classificação. Sendo que, Nível 1: sem ocorrência da doença; Nível 2: pequena ocorrência da doença; Nível 3: média ocorrência da doença; Nível 4: alta ocorrência da doença.	54
Figura 15 - Média da reflectância dos níveis de severidade nas 4 bandas espectrais do sensor Sequoia.	56
Figura 16 - Médias do índice PSRI em cada nível de severidade.	65
Figura 17 - Índice de Reflectância de Senescência das Plantas para todo o talhão.	67
Figura 18 - Imagem índice de vegetação reclassificada nas 5 classes.	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Níveis de severidade e descrição da doença.....	39
Tabela 2 - Características das bandas espectrais usadas no estudo.	42
Tabela 3 - Funções de índices de vegetação utilizados no estudo.	44
Tabela 4 - Ocorrência de indivíduos em cada nível de severidade da doença	48
Tabela 5 - Estatísticas descritivas da reflectância espectral de superfície das bandas do sensor Sequoia para os níveis de severidade de <i>Erwinia psidii</i> em <i>Eucalyptus urograndis</i>	55
Tabela 6 - Valores médios dos índices de vegetação de acordo com os níveis de severidade.....	59
Tabela 7 - Resultados do teste estatístico de Shapiro-Wilk, para cada IV.	61
Tabela 8 - Resultados do teste estatístico de Levene para homogeneidade das variâncias.	62
Tabela 9 - Análise da variância para os índices estudados	63
Tabela 10 - Resultado do teste estatístico de Kruskal-Wallis.....	64
Tabela 11 - Resultado do teste de Wilcoxon do índice PSRI, para os grupos de severidade.....	65
Tabela 12 - Estatísticas descritivas do índice PSRI aplicado ao plantio de <i>Eucalyptus urograndis</i> afetado com a bactéria <i>Erwinia psidii</i>	68
Tabela 13 - Classes definidas para reclassificação do índice PSRI, seus respectivos valores e área em hectares.	68

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABRAF	Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas
ANOVA	Análise de Variância
CI <i>green</i>	<i>Green Chlorophyll Index</i>
CL <i>Rededge</i>	<i>Rededge Chlorophyll Index</i>
CV%	Coefficiente de variação
DECEA	Departamento de Controle do Espaço Aéreo
GNDVI	Diferença normalizada no verde
GPS	<i>Global Positioning System</i>
ha	Hectares
IAF	Índice de área foliar
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IMUs	Unidades de Movimento Inercial
IV	Índice de vegetação
IVP	Infravermelho Próximo
m ²	Metros quadrados
MTCI	Índice terrestre de clorofila
ND	Número digital
NDVI	Índice de vegetação da diferença normalizada
NDVI <i>Rededge</i>	Índice de vegetação da diferença normalizada com a banda <i>Rededge</i>
nm	Nanômetros
PSRI	Índice de Reflectância de Senescência das Plantas
REM	Radiação eletromagnética
RGB	<i>Red, Green, Blue</i>
RPA	Aeronave Remotamente Pilotada
RS	Rio Grande do Sul
RVI	Índice de vegetação reverso
SAVI	Índice de vegetação ajustado para o solo
SIRGAS 2000	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
SR	Razão simples
SR	Sensoriamento Remoto
UAV	<i>Unmanned Aerial Vehicles</i>
VANT	Veículo Aéreo Não Tripulado
Viopt	Índice de vegetação otimizado
WGS 84	World Geodetic System

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	16
2.1	CULTURA DO EUCALIPTO	16
2.1.1	<i>Eucalyptus urograndis</i>.....	17
2.1.2	Doenças do Eucalipto	18
2.1.2.1	<i>Erwinia psidii</i> Rodrigues Neto et al. (1987) em plantios de Eucalipto	20
2.1.3	Quantificação de doenças por sensoriamento remoto	23
2.2	SENSORIAMENTO REMOTO.....	24
2.3	COMPORTAMENTO ESPECTRAL DA VEGETAÇÃO	30
2.4	ÍNDICES DE VEGETAÇÃO	33
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	37
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	37
3.2	LEVANTAMENTO DE CAMPO.....	38
3.3	LEVANTAMENTO AÉREO	40
3.3.1	Preparação das imagens	42
3.4	AVALIAÇÃO DA REFLECTÂNCIA FOLIAR PARA AS BANDAS DO SENSOR	43
3.5	CÁLCULO DOS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO PARA OS DIFERENTES NÍVEIS DE SEVERIDADE DE <i>Erwinia psidii</i>	43
3.5.1	Análises estatísticas	45
3.6	APLICAÇÃO DE ÍNDICE DE VEGETAÇÃO PARA AVALIAÇÃO FITOSSANITÁRIO EM PLANTIOS DE <i>Eucalyptus urograndis</i>	46
3.6.1	Reclassificação do índice	46
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	48
4.1	LEVANTAMENTO DE CAMPO.....	48
4.2	LEVANTAMENTO AÉREO	51
4.2.1	Preparação das imagens	52
4.3	AVALIAÇÃO DA REFLECTÂNCIA FOLIAR PARA AS BANDAS DO SENSOR.	53

4.4	AVALIAÇÃO DOS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO PARA DIFERENTES NÍVEIS DE SEVERIDADE DE <i>Erwinia psidii</i>	58
4.4.1	Estatística dos índices	60
4.5	APLICAÇÃO DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO DE SENESCÊNCIA DAS PLANTAS (PSRI) PARA DETECÇÃO DE OCORRÊNCIA DE <i>Erwinia psidii</i> EM PLANTIOS DE <i>Eucalyptus urograndis</i>	66
5	CONCLUSÕES	72
6	RECOMENDAÇÕES FINAIS	74
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76
	APÊNDICE A	88
	APÊNDICE B	90

1 INTRODUÇÃO

O gênero *Eucalyptus*, nativo do continente australiano, adaptou-se bem às condições climáticas brasileiras, o que possibilitou seu plantio em larga escala (GARLET et al., 2013). No entanto, com a introdução da monocultura no Brasil ocorreu o registro de pragas e doenças associadas às espécies plantadas. Dentre as bacterioses que incidem na cultura do eucalipto, a murcha e a seca de ponteiros (“dieback”), causadas por *Erwinia psidii*, tem despontando como uma das principais doenças em plantios comerciais de eucalipto, principalmente no Sul e Sudeste do Brasil (ARRIEL, 2012).

A bacteriose *Erwinia psidii* Rodrigues Neto et al. (1987), é comumente conhecida por causar seca dos ponteiros em goiabeira (*Psidium guajava*), que assim como o eucalipto pertence à família das Mirtáceas, indicando uma possível mudança de hospedeiro para se tornar um importante patógeno de *Eucalyptus* spp. (HERMENGILDO, 2015).

A ocorrência de doenças em plantas é considerada um dos principais fatores limitantes ao desenvolvimento da agricultura e da silvicultura. As doenças comprometem a produção das culturas, causando grandes prejuízos aos produtores e consumidores, provocando ainda, perdas financeiras incalculáveis (NAUE et al., 2010). Nos cultivos florestais, essa realidade é evidente, sendo que inúmeras vezes, patógenos acabam por comprometer a qualidade das espécies acarretando perdas de toda a linha de produção.

A severidade da *Erwinia psidii* tem sido avaliada em campo, mediante a contagem de plantas infectadas. Contudo, apesar de sua precisão, é oneroso o emprego desse método de avaliação no campo, quando é necessário quantificar a doença em plantios já estabelecidos (TAKAHASHI, 2002). O sensoriamento remoto apresenta-se como uma ferramenta útil para essa finalidade, permitindo a avaliação e monitoramento de extensas áreas de plantios, de difícil acesso e em um curto espaço de tempo.

A utilização de VANT (Veículo Aéreo não Tripulado) no sensoriamento remoto, por sua vez, possui ampla aplicabilidade, sobretudo no processo preliminar de diagnóstico do problema, servindo como base para a implementação de estratégias de manejo a curto ou a longo prazo, otimizando tempo e custo. Outro ponto a se

destacar, é a possibilidade de obtenção de imagens com alta resolução espacial e temporal, se comparado com imagens de satélite disponíveis atualmente. Para Gago et al. (2015), em se tratando de silvicultura, a grande utilidade da informação de alta resolução espacial fornecida pelas imagens aéreas é definir as zonas de maior estresse dentro de um plantio.

O avanço na tecnologia dos sensores de imageamento tem contribuído para o desenvolvimento e aplicabilidade da detecção remota com VANTs na silvicultura. Para tanto, Tang e Shao (2015) recomendam a realização de estudos comparativos sistemáticos e contínuos para determinar as tecnologias apropriadas de aerolevanteamento nas diversas condições florestais e / ou aplicações florestais.

As aplicações do sensoriamento remoto com VANT no âmbito florestal ainda estão em estágio experimental, principalmente as que envolvem índices de vegetação (IVs), os quais podem ser aplicados para diversas finalidades, como para estimativas de biomassa, evolução da cobertura vegetal e quantificação de produção (CHAVES et al., 2015). Além disso, são úteis para avaliar o estresse de plantas, fitossanidade florestal e produção de cultivos (JACKSON e HUETE, 1991).

A associação dos dados de sensoriamento remoto com objetos na superfície terrestre engloba o processo de interação da radiação eletromagnética com o alvo em estudo (PONZONI et al., 2015). Como resultado dessa interação, cada objeto da superfície retorna uma resposta espectral única e intrínseca às suas características.

A resposta espectral da vegetação fotossinteticamente ativa, na região do visível do espectro eletromagnético, corresponde a uma baixa reflectância devido à absorção da radiação incidente pela clorofila e pelos carotenóides da planta; já na região do infravermelho próximo, ocorre uma alta reflectância devido à estrutura celular da folha (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007). Porém, pragas e doenças frequentemente são responsáveis por muitos fatores que afetam a refletância. Em geral os tecidos infectados apresentam menor refletância na região do infravermelho (comprimento de onda $> 0,7 \mu\text{m}$), quando comparados com tecidos saudáveis, possibilitando a quantificação pelas diferenças de refletâncias (GONÇALVES, 2015). Isso porque tecidos saudáveis possuem maior conteúdo de água, o que influencia diretamente na maior absorção de radiação eletromagnética na região do infravermelho.

Medeiros et al. (2008) recomendam o uso dos índices de vegetação, para o monitoramento de insetos desfolhadores e/ou doenças comprometedoras de área foliar. O grande desafio é, entretanto, encontrar um tratamento de imagem, ou um índice de vegetação, que consiga diagnosticar baixos níveis de desfolhamento ou infestação, além de caracterizar o estado sanitário de uma floresta.

Os esforços das pesquisas em silvicultura demonstram a viabilidade do sensoriamento remoto como um método consistente para estudar a variabilidade espacial dos plantios florestais, no entanto ainda é necessário estudar a aplicação de imagens de sensores a bordo de VANTs para a silvicultura.

Diante da problemática exposta, o objetivo deste trabalho foi desenvolver uma metodologia de processamento e análise de imagens obtidas por sensor multiespectral embarcado em VANT, para auxiliar na caracterização da resposta espectral de *Eucalyptus urograndis* com incidência da bactéria *Erwinia psidii*, visando a discriminação e reconhecimento dos níveis de severidades da doença em plantios florestais.

Dentro desse contexto, os objetivos específicos do presente trabalho foram:

- Avaliar a doença em campo quanto ao ataque nas copas em níveis de severidade da bactéria *Erwinia psidii*;
- Avaliar a eficácia das imagens obtidas para a expressão dos níveis de severidade da doença;
- Identificar os índices de vegetação adequados para detecção, avaliação e quantificação dos danos causadas pela bactéria *Erwinia psidii*;
- Quantificar a ocorrência da bactéria *Erwinia psidii* em plantio de *Eucalyptus urograndis*.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 CULTURA DO EUCALIPTO

O eucalipto é um gênero que ocorre naturalmente na Austrália, Indonésia e ilhas próximas. O gênero *Eucalyptus* pertence à família das mirtáceas, com cerca de 600 espécies e sub-espécies. Apresenta uma ampla plasticidade e dispersão mundial, crescendo satisfatoriamente em diferentes situações edafoclimáticas, extrapolando àquelas das regiões de origem (SANTOS; AUER; JR., 1997).

No Brasil entre os anos de 1909 a 1966 as áreas implantadas com a espécie *Eucalyptus benthamii* já passavam de 470 mil ha e a homogeneidade dos plantios requeria uma silvicultura apropriada e mais direcionada (GARCIA e MARTINS, 1966). Diante disso, em 1967 o governo brasileiro iniciou uma política de incentivos fiscais para empreendimentos florestais implantados nas regiões sul e sudeste do país. Esta política acabou por atrair grandes investimentos de indústrias privadas, que necessitavam de suprimentos sustentáveis de matéria-prima, principalmente para o abastecimento das fábricas de celulose, siderurgia e carvão vegetal (SOUZA et al., 2007).

Porém, as primeiras implantações florestais não obtiveram a produtividade esperada, principalmente devido à falta de trabalhos científicos que permitissem nortear o estabelecimento dessas florestas com técnicas de manejo adequadas (SCOLFORO, 2008). A produtividade aumentou ao passo que ocorreram os avanços na silvicultura, com isso, o eucalipto adaptou-se às condições climáticas do país e à demanda da madeira, em virtude do seu alto potencial de crescimento em relação às espécies nativas do país (TAKAHASHI, 2002).

No Brasil, o eucalipto é seis vezes mais produtivo e possui um custo de produção três vezes menos do que outras árvores utilizadas em países de clima frio para produção de celulose (SCOLFORO, 2008). Segundo a (ABRAF, 2013) a área plantada com *Eucalyptus* em 2012 totalizou 5.102.030 ha, o que representa 76,6% da área total de reflorestamentos no País. O constante crescimento da cultura se deve principalmente à demanda futura dos projetos industriais do segmento de papel e celulose.

As culturas de eucalipto no Brasil são hoje na grande maioria híbridos de espécies, onde buscou - se agregar as melhores características de cada uma de

acordo com o destino da madeira e das condições locais. A maioria das áreas plantadas com eucalipto no País são das espécies *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* (SOUZA et al., 2007). Sendo espécies de uso múltiplo, além da produção de celulose, também são fontes de carvão vegetal para gerar energia e de madeira sólida empregada para produção de móveis, pisos, revestimentos e outras aplicações na construção civil. O segmento de Papel e Celulose concentra 72,5% da área plantada de eucalipto, seguido pelos segmentos de Siderurgia a Carvão Vegetal (19,5%), Painéis de Madeira Industrializada (7,3%) e produtores independentes (0,7%) (ABRAF, 2013).

Para a economia brasileira e para a sociedade em geral, o setor de florestas plantadas contribui com uma parcela importante na geração de produtos, tributos, empregos e bem-estar. O setor é estratégico no fornecimento de matéria-prima e produtos para a exportação e favorece, de maneira direta, a conservação e preservação dos recursos naturais (ABRAF, 2013).

2.1.1 *Eucalyptus urograndis*

Eucalyptus urophylla S.T. Blake é uma espécie da Indonésia e de Timor, ocorre em floresta tropical pluvial nas altitudes inferiores e em floresta temperada montana, nas altitudes superiores. Os solos onde cresce a espécie são bem variados. *E. urophylla* geralmente é uma árvore grande, com tronco reto e uma forte dominância apical, com casca rugosa e com folhas longas e estreitas. É considerada como uma das espécies de maior potencial para reflorestamento devido a seu bom crescimento em quase todo o Brasil (MOURA, 2004).

A madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, é leve e fácil de ser trabalhada, plantações convenientemente manejadas podem produzir madeira excelente para serraria e laminação. Além disso, é a principal fonte de matéria prima para celulose e papel. As espécies *Eucalyptus grandis* e *E. urophylla* são normalmente preferidas para a fabricação de celulose devida sua densidade média (400-600 kg/m³) e por sua cor clara (FERREIRA, 1979).

Essas duas espécies originaram o material híbrido *Eucalyptus urograndis*, e possuem características distintas quanto às dimensões de suas fibras. *E. urophylla* possui uma fibra com maior espessura de parede que fornece maior volume e

resistência ao papel, característica desejável no cruzamento da espécie com o e *E. grandis*, que por sua vez possui fibra de menor espessura e densidade média da madeira (CARVALHO e NAHUZ, 2001).

O que se busca com esse cruzamento é o bom crescimento no campo, característica do *E. grandis*, uma ligeira elevação na densidade da madeira, melhoria no rendimento e propriedades físicas da celulose produzida, trazidas pelo *E. urophylla*. (CARVALHO e NAHUZ, 2001). A hibridização permite a associação de características diferenciadas em espécies importantes e promove o melhoramento de características florestais desejáveis. A técnica tem sido utilizada, por exemplo, para transferir resistência ao cancro do eucalipto para *E. grandis*, mediante o seu cruzamento com *E. urophylla* (ASSIS, 1993). Segundo a pesquisa de (PEREIRA et al., 2006) os clones do híbrido *E. urograndis* apresentam-se mais resistentes ao estresse hídrico.

Os testes realizados por Carvalho e Nahuz (2001) comprovaram que às variáveis de rendimento e qualidade da polpa de celulose, o material híbrido alcançou valores bastante satisfatórios, caracterizando uma madeira adaptada à indústria de celulose, além de os valores de porcentagem de rejeitos serem baixos, nenhum acima de 0,3%.

Segundo Assis et al. (2015) nos plantios atuais percebe-se a presença marcante de *E. urograndis* *E. urophylla* em mais de 80% dos clones plantados, apresentando uma expectativa de maior produtividade e incorporação de melhor qualidade à madeira para os diferentes usos finais.

2.1.2 Doenças do Eucalipto

Doença é uma alteração deletéria das funções biológicas normais da planta causada por um patógeno (agente biótico), condições adversas do meio (agente abiótico) e, ou anormalidade genéticas. Os agentes bióticos causadores de doenças, podem ser fungos, bactérias, nematoides, viróides, micoplasmas, protozoários, algas e plantas parasitas superiores. Fungos e bactérias são, até o presente, os únicos agentes bióticos patogênicos na eucaliptocultura (ALFENAS e ZAUZA, 2007).

Nos últimos anos a expansão da eucaliptocultura tem ressaltado acarretado um significativo aumento na incidência de doenças na etapa de produção de mudas e em plantios de *Eucalyptus*, bem como o surgimento de novas enfermidades (ALFENAS et al., 2001). Estas novas doenças causam danos potenciais às plantações florestais

principalmente pelo fato de espécies plantadas e seus híbridos não possuírem material genético resistente para plantios comerciais (AUER; SANTOS, 2011).

Tanto na etapa de produção de mudas como em plantios já estabelecidos, de acordo com (SANTOS; AUER; JR., 1997) o eucalipto é atacado por vários patógenos e geralmente, os problemas são observados nas plantações, ocorrendo nos mais variados locais, espécies e épocas do ano. Segundo os mesmos autores doenças que ocorrem em plantios já estabelecidos e afetam as folhas da planta, causam sérios prejuízos.

Dentre as principais doenças da eucaliptocultura destacam-se a ferrugem, causada pelo fungo *Puccinia psidii*; a murcha-de-Ceratocystis e o cancro do eucalipto causado por *Chrysosporthe cubensis*. Pode-se destacar ainda a ocorrência de Oídio, a mancha de *Cylindrocladium*, e a Mancha de *Mycosphaerella sp.* (SANTOS; AUER; JR., 1997).

Para a ocorrência de uma doença são necessários: a presença de um hospedeiro suscetível, a disponibilidade de inóculo do patógeno e a predominância de condições de ambiente favoráveis a infecção (ALFENAS e ZAUZA, 2007). Nesse sentido as alterações climáticas apresentam uma grande influência, afetando indiretamente a distribuição e a abundância dos agentes patogênicos florestais, bem como a gravidade das doenças das árvores. O aumento da temperatura e as mudanças na precipitação também podem permitir que as áreas de algumas espécies se expandam, resultando na introdução de espécies não invasoras nativas, que representam um risco significativo para as florestas. (SMIGAJ et al., 2015).

A evolução das doenças em plantios de eucalipto, embora variável em função do material genético (espécies, procedências, progênies e clones), da qualidade do sítio, da idade da planta e das condições climáticas da época do ano, deve estar ligada a um importante fator, que é a adaptação genética do patógeno ao material plantado, com aumento gradativo do inóculo na região (SILVEIRA e HIGASHI, 2003).

Apesar de todos os riscos com relação a doenças que são inerentes ao uso de clones, a clonagem tem sido fundamentalmente muito mais uma solução do que um problema. Não fosse a clonagem, o plantio de florestas economicamente viáveis, em muitas regiões do país, seria praticamente impossível. O uso de clones resistentes ao cancro, à ferrugem e à seca é um exemplo real disto (ASSIS et al. 2015).

Para as doenças, as medidas de controle, na grande maioria dos casos, são feitas de modo preventivo mediante o desenvolvimento, a seleção e a propagação

comercial de materiais genéticos resistentes, o gênero *Eucalyptus* possui uma grande quantidade de espécies, e nelas se encontra variabilidade intra e interespecífica para resistência a essas doenças, o que permite a seleção de materiais resistentes em espécies puras e também o desenvolvimento de híbridos interespecíficos resistentes (ASSIS; ABAD; AGUIAR, 2016).

2.1.2.1 *Erwinia psidii* Rodrigues Neto et al. (1987) em plantios de Eucalipto

A bacteriose *Erwinia psidii* sp. nov. Rodrigues Neto et al. (1987) é comum em goiabeiras, afetando todas as partes da planta, embora restrita a partes jovens da planta e aos frutos e não causar infecção sistêmica ou morte das plantas, a doença tem provocado perdas elevadas à cultura e prejudicado significativamente a sua exploração (COELHO e MENDES, 2002).

Desde 2009 tem sido observada, com ocorrência esporádica, em plantios de *Eucalyptus* spp. em São Paulo e no Rio Grande do Sul. A doença foi primeiramente constatada em Lençóis Paulista, São Paulo e posteriormente em Guaíba e Rosário do Sul, no Rio Grande do Sul, em plantios clonais de híbridos de *E. urophylla* x *E. grandis* e em plantios seminais de *E. grandis* e *E. dunnii*. Em determinados locais e épocas do ano a doença incide em quase 100% das plantas levando à perda da dominância apical e possível redução do crescimento, gerando prejuízos para a cultura (ARRIEL, 2012).

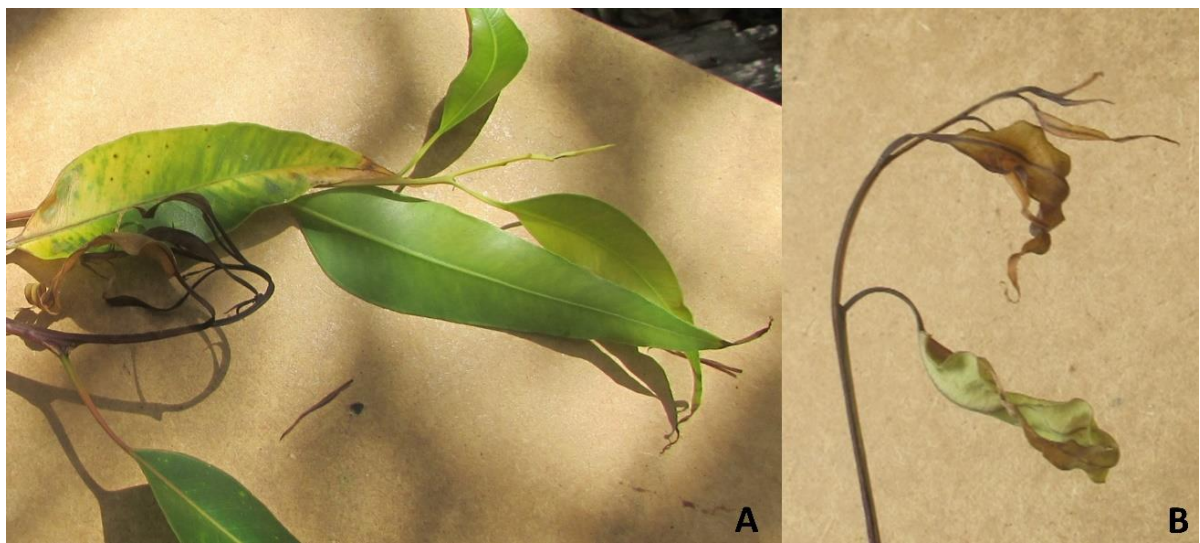
Os primeiros sintomas da doença em plantas jovens (6 meses a 2 anos de idade) são lesões necróticas em folhas recém-formadas que também muitas vezes têm um halo de resíduo bacteriano em torno deles (COUTINHO et al., 2011). A Figura 1 apresenta alguns sintomas da doenças observados em campo.

Segundo Marques et al. (2007) a identificação da seca de ponteiros incitada por *E. psidii* exemplifica mais uma potencial doença, causada por bactéria, como fator limitante à eucaliptocultura. A ocorrência de *E. psidii* em *Eucalyptus* spp foi provavelmente favorecida tanto pela expansão da doença em goiabeira para outras regiões do país, quanto pela expansão da eucaliptocultura (ARRIEL, 2012), sendo que o eucalipto hoje é cultivado na maioria dos estados do Brasil, onde a cada ano novos materiais genéticos são desenvolvidos e introduzidos.

Em plantios de eucalipto a doença é reconhecida pelo arroxamento do pecíolo e entre as nervuras do limbo foliar ao longo da nervura principal, cujas folhas

posteriormente murcham e secam. Manchas de aspecto encharcado (anasarca) adjacentes à nervura central das folhas também são observadas. Nos ramos jovens de algumas plantas observa-se discreta exsudação macroscópica de pus bacteriano e escurecimento da medula. Outro sintoma observado é a murcha, que culmina com a morte da planta e abundante exsudação de pus (HERMENGILDO, 2015).

Figura 1 - Folhas jovens de *Eucalyptus urograndis* com sintomas de *Erwinia psidii* A) Secamento de folhas jovens e anasarca em folha madura B) Folhas jovens secas e encarquilhadas.



Fonte: Autora.

Segundo Ferreira e Milani (2002), embora as doenças que causam seca de ponteiros afetem significativamente os estágios vegetativos das plantas, em geral elas tendem a sobreviver. Nesse caso, abaixo da porção com o *dieback* (seca de ponteiro), surgem brotações resultantes do processo hormonal desencadeado a partir da morte do ponteiro apical, e uma dessas brotações assume a função de dominante ou co dominante apical. Quando isso é observado é sinal que o estresse ou a doença já cessaram, e o que se observará são consequências da anormalidade e da expressão dos mecanismos de defesa.

O mecanismo de patogenicidade de *Erwinia psidii* não está totalmente esclarecido, mas sabe-se que a bactéria pode ocupar os vasos condutores da planta, o que talvez seja um dos fatores que condicionam o sintoma de seca em hastes e brotações (COELHO e MENDES, 2002).

A doença é favorecida por temperatura elevada e alta umidade relativa. Em goiabeira, a disseminação da bactéria ocorre principalmente por ferramentas de poda e mudas contaminadas (MARQUES et al., 2007). Outras formas possíveis de dispersão ainda não foram investigadas, assim como a longevidade de *E. psidii* em restos de cultura infectados e a sua possível sobrevivência no solo ou associada a plantas hospedeiras alternativas ainda não são conhecidas (COELHO e MENDES, 2002).

Segundo Hermengildo, (2015) em eucalipto não se tem conhecimento de como o patógeno inicia a infecção. Uma das hipóteses é que, assim como para goiabeira, o manuseio de ferramentas na multiplicação das mudas clonais de eucalipto possa disseminar o patógeno

A mesma autora sugere que a infecção de *E. psidii* em *Eucalyptus* spp. é resultado de uma adaptação recente do patógeno ao eucalipto. Isto adiciona a um número de agentes patogênicos importantes e relativamente específicos do hospedeiro que se adaptaram para infectar eucalipto onde estas árvores são plantadas como não-nativas. *E. psidii* representa o primeiro exemplo claro de um patógeno bacteriano específico submetido a uma mudança de hospedeiro para *Eucalyptus* spp. (COUTINHO et al., 2011).

Em goiaba as principais medidas de controle recomendadas para a *E. psidii* são o corte e a destruição dos ramos atacados e não há relatos de resistência genética à doença (Marques et al., 2007). Entretanto, em eucalipto medidas de controle semelhantes tornam-se inviáveis em virtude das extensas áreas cultivadas e principalmente em virtude do porte da planta. Como a ocorrência de *E. psidii* em eucalipto é recente, não há dados disponíveis sobre danos econômicos ou do real potencial do patógeno para a cultura (ARRIEL, 2012).

De acordo com as observações de Coutinho et. al (2011), as infecções devido a ocorrência de *E. psidii* causam graves danos às árvores jovens, especialmente através da morte de topos de árvores e da perda de dominância apical, no entanto as árvores também parecem se recuperar com relativa rapidez. Isto deve-se provavelmente ao seu crescimento rápido e devido a ocorrência da doença somente em árvores jovens, as quais possuem alto vigor vegetativo, que possibilita sua rápida recuperação. A respeito disso, a doença não parece ser uma ameaça grave ao *Eucalyptus* spp. embora deva ser cuidadosamente monitorada.

A ocorrência de pragas e doenças em florestas implantadas é um evento que requer rapidez na identificação de métodos que proporcionem a contenção de seu desenvolvimento (PONZONI, 1996). Nesse sentido o acompanhamento de novos focos da doenças com técnicas de sensoriamento remoto podem apresentar algum potencial. Em todo o mundo a detecção e monitorização robusta dos povoamentos florestais afetados é crucial para permitir que as intervenções de gestão reduzam a propagação de infecções (SMIGAJ et al., 2015).

2.1.3 Quantificação de doenças por sensoriamento remoto

A quantificação de doenças de plantas, fitopatometria, visa avaliar sintomas causados pelos agentes patogênicos nas plantas e seus sinais. São técnicas utilizadas para determinar a quantidade da doença nos órgãos atacados, seja pela percentagem de área atingida (severidade) ou proporção de indivíduos ou órgãos atacados (incidência). A unidade em cada uma destas ações patométricas, são determinados em valores percentuais (MARTINS, 2007).

Além disso, doenças de plantas podem ser avaliadas por métodos diretos, onde a estimativa da quantidade de doença é feita diretamente pelos sintomas e sinais (proporção de tecido doente do hospedeiro), ou por métodos indiretos, onde a quantidade de doença é estimada pela população do patógeno (NAUE et al., 2010).

A quantificação da severidade retrata a intensidade da doença, uma vez que estima a área afetada; quantificá-la, porém, é uma tarefa difícil, por ser subjetiva e imprecisa (MARTINS, 2007). A quantificação da incidência, por sua vez, é o método quantitativo mais comum, fácil e preciso de medição, obtendo-se o mesmo através da contagem de plantas ou órgãos doentes, através do número e/ou percentagem (frequência) de folhas, folíolos, frutos, ramos infectados, sem levar em conta a quantidade de doença em cada planta ou órgão individualmente. Segundo Lippert (2011), a avaliação da severidade exige a adoção de chaves descritivas, escalas diagramáticas, técnicas de sensoriamento remoto (LIPPERT, 2011).

A detecção de doenças de plantas ou até mesmo sua quantificação por meio do sensoriamento remoto, baseia-se na radiação refletida das folhagens. A quantidade e a qualidade da radiação refletida a partir das folhas são dependentes de vários fatores, entre eles a sanidade do tecido vegetal, que quando infectado por fitopatógenos reage causando o sintoma. Os sintomas podem ser primários,

resultantes da ação direta do patógeno sobre os tecidos do órgão afetado, como manchas foliares e podridões de frutos, e secundários ou reflexos, que são exibidos pela planta em órgãos distantes do local de ação do patógeno, como subdesenvolvimento da planta e murchas vasculares (NAUE et al., 2010).

A descoloração dentro de uma folha causada por danos ou doenças pode ser detectada pelo sensoriamento remoto alguns dias antes do aparecimento dos sintomas (LIU, 2007) Dessa maneira, a intensidade das doenças pode ser avaliada sem que haja contato físico com as plantas através da aplicação de ferramentas de sensoriamento remoto, as quais se baseiam na medição da energia refletida ou emitida por um objeto sem contato físico com o mesmo (BOECHAT, 2012).

2.2 SENSORIAMENTO REMOTO

Sensoriamento remoto é a tecnologia que permite obter imagens e outros tipos de dados, da superfície terrestre, por meio da captação e do registro da energia refletida ou emitida pela superfície (FLORENZANO, 2007). O termo sensoriamento remoto apareceu pela primeira vez na literatura científica em 1960 e significava simplesmente a aquisição de informações sem o contato físico com os objetos. Desde então esse termo tem abrigado tecnologia e conhecimentos extremamente complexos derivados de diferentes campos que vão desde a física até a botânica e desde a engenharia eletrônica até a cartografia (NOVO, 2010).

A obtenção de dados por sensoriamento remoto requer o uso de energia, que pode ser proveniente de uma fonte natural ou artificial, (FLORENZANO, 2007). Os sensores remotos permitem qualificar a quantificar o fluxo de energia radiante que provém dos elementos naturais observados, proporcionando assim meios para a caracterização das suas funções e propriedades. Os quatro processos (emissão, absorção, reflexão e transmissão) ocorrem simultaneamente, e suas intensidades relativas nos diferentes comprimentos de onda do espectro eletromagnético caracterizam o objeto em questão.

Esses fatores podem ser modificados no caso da ocorrência de fenômenos meteorológicos ou incidência de pragas e enfermidades (SÁ; ANTONIO; ALMOROX, 1999), permitindo identificar e avaliar a gravidade das alterações causadas por fatores bióticos ou abióticos, e identificar as alterações fisiológicas nas plantas.

Como o Sensoriamento Remoto é baseado na radiação refletida das folhagens, as diferenças de reflectância podem ser obtidas e utilizadas de forma eficiente para mapear e quantificar a biomassa, bem como falhas presentes no meio da plantação. Uma das grandes vantagens do sensoriamento remoto na agricultura é a capacidade de mapeamento de grandes áreas em curtos espaços de tempo. Outra vantagem é a possibilidade de uma visão aérea da cultura, que pode revelar detalhes não observáveis pela visão no nível do solo (CHAVES et al., 2015).

A crescente demanda por produtos florestais faz com que o setor produtivo busque tecnologias que proporcionem maiores informações sobre as características dos povoamentos, uma vez que, essas áreas demandam de monitoramento periódico para que se tenha um produto de qualidade. A interação entre o sensoriamento remoto e informações de campo se estabelecem como ferramenta primordial, uma vez que as áreas florestadas ocupam grandes extensões, dificultando o acesso em muitas delas (COSTA et al, 2015).

Os dados de Sensoriamento remoto podem ser usados por exemplo para o planejamento de reforma de talhões, determinação de áreas submetidas a corte raso, avaliação de danos de incêndios florestais, obtenção de informações em processos de compra e venda de áreas, definição de áreas de reserva legal e de preservação permanente (SOUZA et al., 2007), além de identificação de focos de desfolhamento das árvores, mapeamento de áreas com problemas de plantas invasoras e áreas mais sensíveis a déficits hídricos (VETTORAZZI e FERRAZ, 2000).

Hoje as condições técnicas para a adoção dos métodos de aquisição de dados se concretizam por meio dos novos sistemas sensores orbitais de alta resolução espacial; câmeras digitais (tanto fotográficas quanto de vídeo) atuando nas regiões do visível e do infravermelho próximo; sistemas de posicionando por satélites, com exatidão métrica e correção diferencial em tempo real; computação móvel; novas técnicas de análise de dados etc. (VETTORAZZI e FERRAZ, 2000).

Os sistemas de sensoriamento remoto *multiespectrais* registram a energia em múltiplas bandas do espectro eletromagnético. Certas regiões do espectro eletromagnético são ótimas para obter informações sobre parâmetros biofísicos (JENSEN, 2009). Sendo esta uma das principais contribuições do sensoriamento remoto aplicado aos estudos florestais.

O sensoriamento remoto, no seu significado mais amplo, vem sendo empregado em trabalhos de pesquisas dentro de praticamente todos os ramos da

ciência, dentre os quais a ciência florestal (SOUZA et al., 2007). Estudos têm demonstrado que dados de sensores remotos podem ser utilizados para o mapeamento de fisionomias vegetais. A agricultura, gerências de recursos florestais e, até mesmo, gerências de recursos hídricos demonstram um crescente interesse em desenvolver métodos capazes de avaliar a saúde de uma determinada vegetação, indicar áreas onde se pratica a irrigação de parcelas agrícolas entre outras aplicabilidades. Para assim melhorar, por exemplo, a produtividade de uma plantação ou o controle de áreas de proteção ambiental (BRITO NETO et al., 2008).

Abordagens quantitativas são normalmente utilizadas para encontrar uma relação entre parâmetros do alvo (parâmetros estimados in situ, ex: área basal) e sua reflectância espectral e/ou transformações de reflectância (ex: índices de vegetação) (SOUZA; GALVÃO; SANTOS, 2009).

Deste modo o Sensoriamento Remoto apresenta-se como uma importante ferramenta na aquisição de dados, permitindo significativos ganhos no inventário florestal, auxiliando na tomada de decisão e possibilitam um uso ótimo nos trabalhos de campo (OLIVEIRA, 2011).

Pesquisas voltadas a quantificação e identificação de danos provocados por fatores bióticos a partir do sensoriamento remoto vem sendo desenvolvidas, das quais pode-se destacar o estudo de (PONZONI, 1996) que utilizou o sensoriamento remoto com o objetivo de avaliar a viabilidade do uso de dados TM/Landsat na identificação dos efeitos causados pelo ataque da vespa-da-madeira (*Sirex noctilio* Fabricius) em plantios de Pinus.

No entanto, segundo o próprio autor, no Brasil, são escassos os exemplos de aplicação do sensoriamento remoto orbital na identificação e no monitoramento de pragas e doenças florestais, restringindo-se a situações nas quais os plantios já teriam sido parciais ou completamente destruídos.

A realização de mapeamentos utilizando técnicas de sensoriamento remoto em áreas florestais começou no Brasil com a utilização de fotografias aéreas de áreas florestais de difícil acesso, primeiramente utilizando-se da fotointerpretação e da fotogrametria, tornando-se uma ferramenta imprescindível para a ciência florestal. A rápida evolução tecnológica de sensores remotos vem proporcionando a obtenção de dados digitais com uma resolução e agilidade espacial cada vez maior. (SOUZA et al., 2007). Hoje a fotogrametria digital com uso de VANTs apresenta-se como uma ferramenta moderna e imprescindível na obtenção desses dados.

Com o desenvolvimento notável da tecnologia nos últimos anos os VANTS são agora potentes plataformas de sensores para várias aplicações agrícolas e ambientais. Representando um dos mais importantes avanços recentes na coleta de dados por fotografias aéreas (CANDIAGO et al., 2015). Isso se deve principalmente a redução de custos e tamanho dos sensores relacionados ao Sistema de Posicionamento Global (GPS), vôos pré-programados, IMUs (unidades de movimento inercial) e pilotos automáticos (GAGO et al., 2015).

Os VANTS são aeronaves controladas remotamente que dispensam tripulação. É comum o uso do termo “drone” para designar esse tipo de aeronave, segundo o (DECEA, 2015) existem os termos Aeronave Não Tripulada Totalmente Autônoma e Aeronave Remotamente Pilotada para definir esse tipo de aeronave.

O uso de VANTs vem sendo adotado nos estudos de sensoriamento remoto pois proporciona baixo custo de aquisição de dados de alta resolução espacial quando comparados a uma aeronave tripulada ou satélite para os mesmos fins (Jensen, 2009). Acrescenta-se ainda a vantagem das imagens obtidas serem mais acuradas e possíveis de serem obtidas a qualquer momento, inclusive de serem feitas mais de uma vez no mesmo dia, diferentemente das obtidas de satélites (CHAVES et al., 2015), dando liberdade ao operador do equipamento a obtenção de imagens em diferentes momentos, facilidade no desenvolvimento de planos de voos, além da grande possibilidade de se estruturar uma base com imagens multitemporais, permitindo agilidade, qualidade e baixo custo aos usuários (BRAZ et al., 2015)

Em um VANT pode ser embarcada uma variedade de sensores para a coleta de dados via Sensoriamento Remoto. Esses sensores permitem um ganho em relação aos equipamentos a bordo de plataformas orbitais, principalmente, em virtude das resoluções espacial e temporal. Nesse aspecto um VANT constitui-se em um equipamento de coleta de dados de forma rápida, de maior resolução e com menor custo (BOEING, 2014). A resolução espacial das imagens obtidas com VANTs pode ser regulada pela altitude da aeronave, variando entre centímetros até alguns metros (FIGUEIRA, 2013).

O baixo custo das operações com VANT, se comparado com equipamentos similares em levantamentos aerofotogramétricos, torna o VANT uma opção que agrega valores quanto à rapidez e acesso na captura das imagens e por consequência, no processamento dos dados no âmbito de pesquisas (PEGORARO et al., 2013).

No entanto, sua desvantagem é que eles exigem mais vôos para cobrir grandes áreas devido ao seu tempo de voo reduzido, por vezes sendo necessário vários voos e a substituição de baterias. Além disso, a gestão manual de um grande número de imagens é muito demorada e o processamento de dados pode ser altamente complexo (GAGO et al., 2015).

O uso e a aplicação de VANTS vem, a cada dia, se fixando no mercado de mapeamentos digitais, sendo amplamente utilizado na agricultura e agora tomando espaço significativo no setor florestal, no entanto ainda há uma quantidade limitada de pesquisas publicadas sobre aplicações de VANTS na área florestal, a grande maioria dos trabalhos ainda se restringe à agricultura de precisão, porém neste cenário tem sido foco de muitas pesquisas, principalmente com o uso de índices de vegetação que podem ser aplicados para diversas finalidades como estimativas de biomassa, evolução da cobertura vegetal e quantificação de produção (CHAVES et al., 2015), além de condições fitopatológicas.

Como exemplo podemos citar o trabalho de Michez et al. (2016), que utilizou imagens obtidas com VANT, na Valónia, sul da Bélgica, para caracterizar espécies florestais ribeirinhas e suas condições de saúde, utilizando relações de bandas individuais e índices de vegetação (NDVI e GNDVI). Essa abordagem inovadora é o primeiro estudo de caso da floresta que tira proveito da resolução espacial e temporal de imagens obtidas com VANTS para descrever com sucesso características sutis, tais como espécies arbóreas individuais ou condição de saúde (MICHEZ et al., 2016).

Outro estudo, direcionada ao inventário florestal é o de Soares et al. (2015) onde foram utilizadas imagens RGB para realizar inventário florestal por meio de contagem de copas. Os resultados deste trabalho evidenciam que ainda existem aspectos a melhorar na utilização dos VANT no inventário florestal e ainda recomendam o uso de imagens multiespectrais para avaliar o estado fitossanitário dos plantios.

Berveglieri e Tommaselli (2016) descrevem um estudo preliminar sobre a orientação da imagem adquirida por uma câmera de quadro hiperespectral (Rikola) a bordo de um VANT leve com um receptor GNSS de frequência dupla para georreferenciamento de imagens, com o objetivo de avaliar os resultados da orientação. Os resultados mostraram uma discrepância na coordenada Z de aproximadamente 40 cm, utilizando a técnica proposta, que é suficiente para aplicações em florestas.

Hernández-clemente, Navarro-Cerrillo e Zarco-Tejada, (2012) exploraram o uso de índices de banda estreita formulados na região espectral visível utilizando imagens obtidas com VANT em um área de floresta de pinheiros em declínio. Este estudo demonstra a viabilidade de mapear o conteúdo de carotenóides para avaliar a condição fisiológica das florestas através dos índices de vegetação.

Sendo a tecnologia mais explorada na agricultura de precisão, é possível citar exemplos de uso de imagens adquiridas com VANT para avaliar o estado da água em um plantio de *Vitis vinifera* L. (BALUJA et al., 2012); Vega et al. (2015), usaram imagens temporais em cultura de girassol para estimar o NDVI e estudar sua relação com diversos índices relacionados ao estado das culturas durante a estação de crescimento; Outros vários estudos descreveram a utilidade de VANTS equipados com câmeras multi-espectraia para examinar o IAF através do índice NDVI em culturas herbáceas e lenhosas como trigo, milho e oliveiras (GAGO et al., 2015). A aplicação de índices associada a imagens de VANTS pode levar a um resultado mais preciso e objetivo para a detecção e mapeamento das distribuições espaciais de doenças (ZHANG et al., 2012).

Pesquisas similares ao objetivo do presente trabalho foram desenvolvidas por (SMIGAJ et al., 2015) que investigaram o uso de um sistema térmico embarcado em VANT para detecção de diferenças de temperatura do dossel relacionadas ao início estresse causado pela inasão de insetos em um cultivo de *Pinus sylvestris* na França; E por Garcia-Ruiz et al. (2013), que empregaram um VANT equipado com uma câmera multiespectral para identificar uma doença causada por vírus em pomares de citros.

A tecnologia de veículos aéreos não tripulados é útil para aquisição de dados de sensoriamento remoto a baixo custo para fins de vigilância, análise de recursos terrestres, planejamento urbano, etc. (JENSEN, 2009). Nesse sentido, a tecnologia do uso de VANTS pode preencher a lacuna de conhecimento entre a folha e o dossel, permitindo indentificar árvores individuais ou áreas fragmentadas, melhorando tanto a resolução espacial quanto a temporal dos sistemas de sensoriamento remoto, contribuindo para o desenvolvimento das culturas e de gestão do stress biótico e abiótico, tornando-se uma importante ferramenta para a silvicultura.

2.3 COMPORTAMENTO ESPECTRAL DA VEGETAÇÃO

Estudos caracterizados como “Comportamento Espectral da Vegetação” contribuem para o aprimoramento do conhecimento entre a energia eletromagnética e a vegetação. O termo “comportamento espectral” é freqüentemente utilizado para representar as características de reflectância da REM, pelas folhas, plantas individuais e conjunto de plantas e está associado aos conceitos de reflectância, absortância e transmitância, ou seja, para caracterizar o comportamento espectral da vegetação é necessário ter conhecimento do processo de interação entre a radiação eletromagnética em termos destes três fenômenos físicos. Destes fenômenos, a refletância é o mais utilizado em estudos de vegetação envolvendo técnicas de sensoriamento remoto (NAUE et al., 2010).

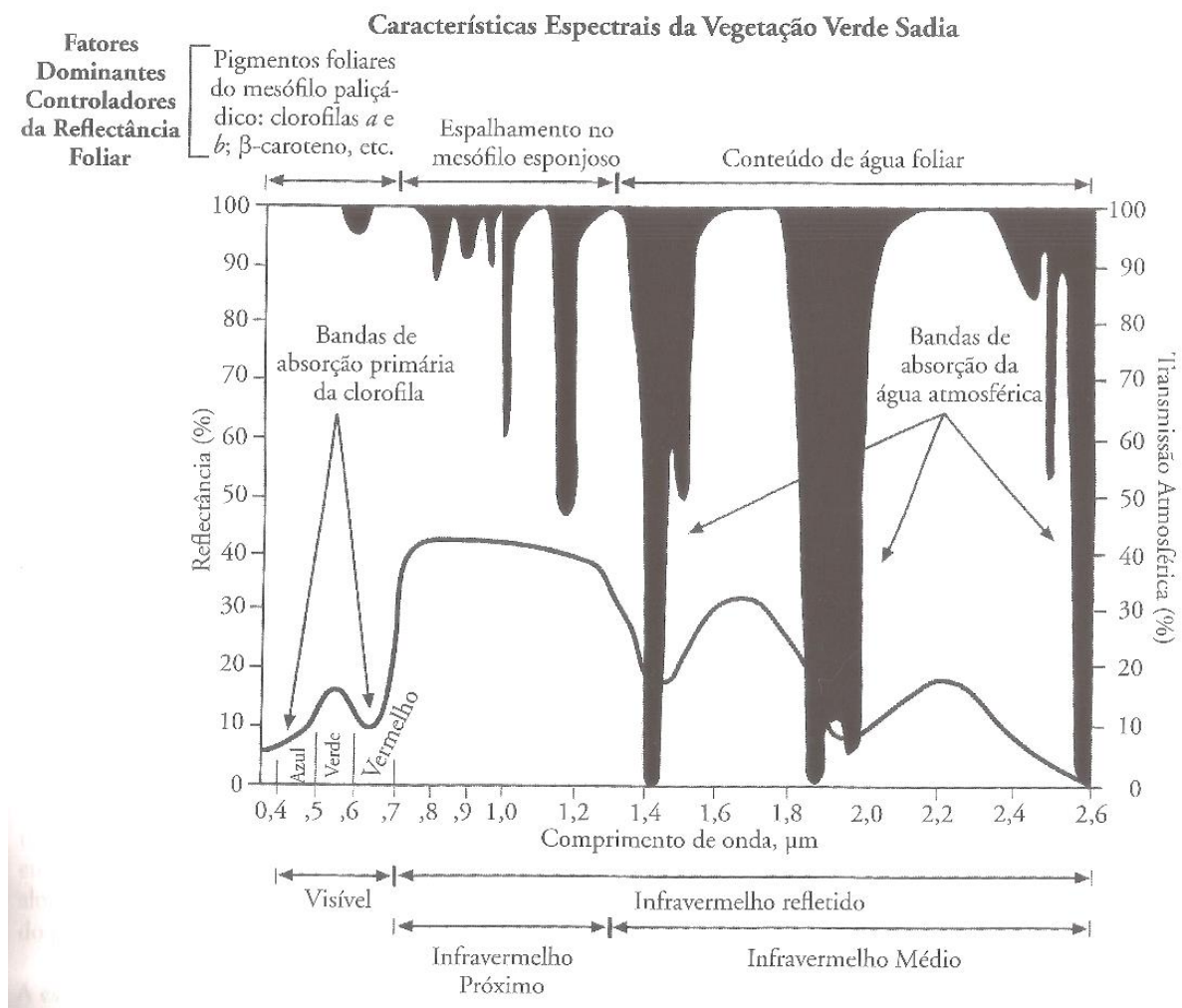
A reflectância espectral é o parâmetro utilizado para distinguir os diferentes alvos numa imagem e está associado às características intrínsecas de composição físico-química do alvo, o que possibilita discriminar e/ou identificar os alvos das cenas. A radiação refletida pelas folhagens é função de características da própria espécie vegetal estudada e das condições em que elas se encontram. Porém, pragas e doenças frequentemente são responsáveis por muitos fatores que afetam a refletância (GONÇALVES, 2015).

As plantas adaptaram sua estrutura interna e externa para realizar fotossíntese. Esta estrutura e suas interações com a energia eletromagnética tem um impacto direto na forma como as folhas e os dosséis vegetais aparecem espectralmente quando registrados usando instrumentos de sensoriamento remoto (JENSEN, 2009).

Na região a reflectância não ultrapassa os 10% da radiação incidente, caracterizando-se pela absorção acentuada da radiação eletromagnética por conta da ação dos pigmentos fotossintetizantes, enquanto que na região do infravermelho próximo essa radiação é espalhada de acordo com as características da estrutura interna das folhas, de 40 a 60% da radiação incidente é refletida. Portanto a reflexão da radiação eletromagnética pelas folhas depende de sua composição química e sua estrutura interna (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007). Na região do infravermelho médio encontram-se as faixas de grande absorção da água, sua influência na absortância, reflectância e transmitância de uma folha é observada quando ocorre o decréscimo da umidade na planta que acarreta o aumento da reflectância nessa região.

Os fatores que controlam a reflectância foliar na região espectral de 0,35 a 2,6 μm podem ser observadas na Figura 2.

Figura 2 - Reflectância espectral característica de folha verde sadia, para o intervalo de onda entre 0,4 e 2,6 μm .



Fonte: (JENSEN, 2009 p. 359.)

Podemos analisar a Figura 2 em três regiões: a) até 0,7 μm , onde a reflectância é baixa (<20%), dominando a absorção da radiação incidente pelos pigmentos da planta em 0,48 μm os carotenoides e em 0,62 μm a clorofila; b) de 0,7 μm a 1,3 μm é a região de alta reflectância da vegetação (30% < ρ < 40%) devido à interferência da estrutura do mesófilo foliar; c) entre 1,3 μm e 2,5 μm , a reflectância da vegetação é dominada pelo conteúdo de água; em 1,4 μm e 1,95 μm correspondem as bandas de absorção atmosférica (NOVO, 2010).

Na folha verde sadia típica, a reflectância no infravermelho próximo aumenta muito na região entre 700 e 1200 nm. As folhas verdes sadias absorvem energia radiante muito eficientemente nas porções do azul e do vermelho, que são regiões espectrais necessárias para a fotossíntese (JENSEN, 2009). Destaca-se ainda um pico de reflectância em torno de 500nm, correspondente a região verde do espectro, o que explica a coloração verde das plantas sadias.

Devido à importância dos pigmentos para a função foliar, variações no teor de pigmento podem fornecer informações sobre o estado fisiológico das folhas. Quando uma planta atinge a senescência ou é afetada por estresse ou durante a senescência foliar a clorofila tende a declinar mais rapidamente do que os carotenóides (SIMS; GAMON, 2002). Essas mesmas condições diminuem a eficiência de absorção da clorofila e a reflectância do infravermelho diminui devido à alterações na estrutura celular da planta. Isto conduz a uma redução na reflectância no infravermelho simultâneo com um aumento na reflectância no vermelho (ADAMS; PHILPOT; NORVELL, 1999).

O comportamento espectral da vegetação pode ser também afetado pela arquitetura do dossel e pelo tipo de substrato (NOVO, 2010). Nos dosséis vegetais, a variação da reflectância da cobertura vegetal depende, principalmente, da quantidade de folhas e sua arquitetura. Observa-se que as curvas de reflectância do dossel são semelhantes a curva de folhas isoladas. Quanto maior o IAF de um dossel, espera-se que a sua reflectância seja menor na região do visível (maior oferta de pigmentos fotossintetizantes) e maior no infravermelho próximo (espalhamento múltiplo da radiação eletromagnética nas diferentes camadas de folhas) (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007).

A vegetação sofre modificações ao longo do tempo/ano, em decorrência de alterações sazonais, estágio fenológico, mudanças climáticas bruscas etc. Além dessas, que são alterações naturais da vegetação ou sofridas pela mesma, há modificações impostas pelo homem através das práticas culturais. Por conseguinte, o comportamento espectral da vegetação ou determinada cultura pode ser alterado pela presença de pragas na lavoura, irrigação, adubação etc. (ROSENDO, 2005).

Sendo a folha o elemento mais importante no comportamento espectral da vegetação, a fisiologia, a morfologia, a fenologia da planta, assim como fatores ambientais e estacionais afetam no comportamento espectral da cobertura vegetal

(SÁ; ANTONIO; ALMOROX, 1999) nesse sentido a reflectância foliar pode ser usada como um indicador do estado fisiológico e sanitário das plantas.

2.4 ÍNDICES DE VEGETAÇÃO

Índices de vegetação (IV) são combinações algébricas de várias bandas espectrais, concebidos para realçar vigor da vegetação e propriedades da vegetação. Diferentes índices de vegetação foram definidos para diferentes finalidades. Alguns índices espectrais foram propostos para capturar os processos fotoquímicos associados à fotossíntese ou clorofila, enquanto outros foram projetados para obter o IAF (BRANDÃO; SOFIATTI; SILVA, 2011).

Um IV pode ser calculado por relações, diferenciações, diferenças de proporção e somas, e formando combinações lineares de dados de bandas espectrais, sintetizando as informações em apenas uma banda. (BRITO NETO et al., 2008). IVs podem ser calculados a partir de saídas de tensão do sensor, valores de radiancia, valores de reflectância e números digitais. Cada um está correto, mas cada um renderá um valor de IV diferente para as mesmas condições de superfície (JACKSON; HUETE, 1991).

Essas transformações numéricas são medidas semi-analíticas da atividade da vegetação e têm sido largamente mostradas variando não só com a variabilidade sazonal da folhagem verde, mas também através do espaço, sendo assim adequadas para detectar a variabilidade espacial dentro do campo (VIÑA et al., 2011). Sendo os IVs um dos dados mais utilizados no monitoramento sazonal e interanual de parâmetros fisiológicos e estruturais dos diferentes ecossistemas via sensoriamento remoto (SOUZA; GALVÃO; SANTOS, 2009).

Segundo Liu (2007), as aplicações de índices de vegetação para o monitoramento e discriminação de usos do solo na superfície apresentam várias vantagens: a) os dados compactos de índices de vegetação são calculados com os dados de reflectância das várias faixas espectrais da energia de região eletromagnética; b) os valores relativos compensam a variação de intensidade de radiação; c) corrigem parcialmente os efeitos das variações locais das condições atmosféricas e das variações de ângulo de visada de sensores e ângulos solares, considerando esses efeitos na variação da reflectância recebida pelos sensores nas bandas que compõe os índices são da mesma magnitude.

A crescente disponibilidade comercial de dados de imagens hiperespectrais promove interesses crescentes no desenvolvimento de índices de vegetação para aplicações específicas. No entanto, a selecção dos IVs ótimos para uma finalidade específica não é direta, devido à grande variedade de combinações de bandas possíveis (APAN et al., 2003).

O índice de vegetação mais conhecido e amplamente usado é o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), que foi desenvolvido por Rouse et al. (1974). Ele é baseado na diferença entre a absorção máxima no vermelho e à reflexão máxima no infravermelho próximo, é usado como uma medida para avaliar o crescimento e vigor da planta (OUMAR; MUTANGA; ISMAIL, 2012).

O NDVI varia de -1,0 a 1,0, onde os valores positivos indicam o aumento do verdor e os valores negativos indicam características sem vegetação tais como água, área estéril, gelo, neve ou nuvens. A escala comum para a vegetação verde é 0.2 - 0.9. Os valores moderados representam arbustos e pastagens (0,2 - 0,3), enquanto os maiores valores indicam florestas e culturas (0,4-0,9) (WEIER; HERRING, 2000).

O NDVI, foi introduzido para produzir um IV espectral que separa vegetação verde do brilho de fundo de solo, uma limitação atribuída ao NDVI é a rápida saturação que o torna insensível ao aumento da densidade do dossel (ROSENDO, 2005).

O NDVI é ampliado a favor de condições de baixa biomassa, sendo comprimido a favor de condições de alta biomassa, de florestas. O oposto é verdadeiro para o índice de Razão Simples, para o qual grande parte do intervalo dinâmico abrange florestas de alta biomassa, mas tem pouca variação observada para as regiões de baixa biomassa (pastagens, biomas áridos, biomas semi áridos) (JENSEN, 2009).

O índice de vegetação Razão Simples (SR - *Simple Ratio*) é um índice baseado na razão entre uma banda, onde os valores dos dados crescem com o aumento da vegetação (infravermelho próximo) e outra banda, na qual os valores decrescem com o aumento da vegetação (vermelho), produzindo um parâmetro que é altamente sensível à presença de vegetação (GALVANIN et al., 2014).

O resultado detecta o contraste entre a banda vermelha e a infravermelha para pixels da vegetação com valores de índices elevados que estão sendo produzidos por combinações de reflectância baixas no vermelho (por causa da absorção da clorofila), e altas no infravermelho (em consequência da estrutura da folha) (ROSENDO, 2005). Segundo Moreira (2007), SR e NDVI são matematicamente equivalentes, no entanto o NDVI é mais sensível à vegetação esparsa que o SR.

O GNDVI (colocar o significado da sigla), desenvolvido por Gitelson et al. (1996) para determinar o status de clorofila da planta, (HUNT et al., 2008) ele é calculado de forma semelhante ao NDVI, mas a banda verde é utilizado em vez da banda do vermelho. Ele está relacionado com a proporção de radiação absorvida por fotossíntese e é linearmente correlacionado com o Índice de Área Foliar (IAF) e biomassa. Assim GNDVI é mais sensível à concentração de clorofila do que NDVI e varia de 0 a 1 (CANDIAGO et al., 2015).

Outro índice bastante utilizado para minimizar a influência das propriedades óticas do solo na refletância da vegetação é o SAVI (*Soil-Adjusted Vegetation Index*), este índice é utilizado para eliminar o efeito de solo na observação da vegetação para aquelas áreas onde a cobertura vegetal é pobre e a superfície do solo fica exposto. O SAVI varia de -1,0 a 1,0, com baixos valores correspondentes a uma pequena cobertura de vegetação verde. A formulação SAVI inclui um fator de ajuste para a influência do solo no dossel, o parâmetro L (quando $L = 0$, então $SAVI = NDVI$). L pode assumir valores entre -1 e 1. Sendo os valores ótimos de L: $L = 1$ para densidades baixas de vegetação; $L = 0,5$ para densidades médias; $L = 0,25$ para densidades altas de vegetação (CANDIAGO et al., 2015).

Um baixo valor de L tem de ser aplicado em grandes áreas de densidade de vegetação; um maior L é usado para a presença de pouca vegetação (CANDIAGO et al., 2015). Os mesmos autores utilizaram em sua pesquisa em plantios de videiras alguns valores de L baixos ($L = 0,25$ e $L = 0,10$).

O SAVI faz parte de um grupo de índices considerados híbridos por utilizarem a razão de bandas com parâmetros de ajuste para minimizar o efeito da presença de solo em meio à vegetação. Os parâmetros de ajuste podem ou não considerar os coeficientes da linha do solo, mas sempre expressam o intuito de minimizar o efeito de fundo do solo. O SAVI, proposto por Huete (1988), foi o primeiro índice desenvolvido dentre os considerados “híbridos”. A construção inicial deste índice foi baseada em medidas de algodão e de gramados com solos claros e escuros ao fundo (DE OLIVEIRA et al., 2007).

O Índice de Reflectância de Senescência das Plantas (PSRI) foi concebido para maximizar a sensibilidade do índice à proporção de carotenóides a granel (por exemplo, alfa-caroteno e beta-caroteno) para a clorofila. Um aumento no PSRI indica um aumento do estresse do dossel (pigmento carotenóide), o início da senescência do dossel e a maturação dos frutos. As aplicações incluem monitoramento de saúde

da vegetação, detecção de estresse fisiológico de plantas e produção de culturas e análise de rendimento. Para este índice, os valores variam de -1 a 1, com o intervalo comum de valores para vegetação verde sendo entre -0,1 a 0,2 (MERZLYAK et al., 1999).

Assim, enquanto as alterações na concentração de clorofila são indicativas de estresse e estágio fenológico, o teor de carotenóides foliares é um importante indicador do estado fisiológico da planta. A estimativa exata de carotenóides foliares fornece informações valiosas sobre a detecção precoce do estresse na vegetação (ZHOU et al., 2017) que pode ser medido utilizando-se o índice PSRI.

Além da proporção de carotenóides e clorofilas nas folhas maduras e senescentes, com o PSRI pode-se rastrear a estrutura de mesófilos nas folhas das plantas, o que pode fornecer informações sobre as datas de início e de término das estações de crescimento (REN; CHEN; AN, 2016).

O Índice de Vegetação Relativa (RVI) é uma medida da relação entre a reflectância na região do infravermelho próximo e vermelho. O RVI é o contrário da relação simples proposta pelo SR, o RVI é bastante sensível às mudanças da vegetação durante o período de crescimento e não é muito sensível quando a cobertura vegetativa é escassa (JACKSON; HUETE, 1991).

Alguns índices substituem ou não a banda *red* pela *rededge*. Por exemplo, Gitelson & Merzlyak (1994), Gitelson (2003) e Dash & Curran (2004) propuseram, respectivamente, o $NDVI_{RedEdge}$, o $CI_{RedEdge}$, que são altamente relacionados com o teor de clorofila, assim como o CI_{green} e o O MTCI (*Terrestrial chlorophyll index*) proposto Dash e Curran (2004) (BORGUES, 2015). Além desses índices que utilizam a banda *redege*, pode-se citar o $Vlopt1$ e $Vlopt2$ desenvolvido por Jasper et al. (2009) que usam duas bandas RedEdge em 730 e 760 nm para estimar a absorção de trigo N. Poucos estudos foram realizados com eles e se limitam a avaliação da saúde de vegetação de gramíneas. (HE et al., 2015) CI_{green} e $CI_{RedEdge}$ foram usados em um estudo para determinação de IAF por (VIÑA et al., 2011) utilizando dados do sensor MODIS e ENVISAT, também foram utilizados por (HATFIELD; PRUEGER, 2010) para avaliação do teor de clorofila em várias culturas agrícolas.

A grande maioria dos estudos em sensoriamento remoto fazem uso dos índices de vegetação, para os mais diversificados fins Segundo (HATFIELD; PRUEGER, 2010) o uso de índices de vegetação pode ser a base de decisões agrícolas, trazendo informações importantes para melhorar as avaliações em campo.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo localiza-se no município de Minas do Leão, na Mesorregião Metropolitana de Porto Alegre, Estado do Rio Grande do Sul. A área plantada de *Eucalyptus* sp. no município corresponde a 4.700 hectares (IBGE 2015).

De acordo com a classificação de Köppen o clima da região é Subtropical Úmido (Cfa), com temperaturas médias que variam entre 18°C e 20°C, com precipitações distribuídas durante o ano, apresentando média anual de 1.950 mm e elevação inferior a 100 m em relação ao nível do mar (ALVARES et al., 2013).

Localizada ao norte da borda do Escudo Sul-rio-grandense com a depressão periférica, o município é de relevo ondulado a suave ondulado, os solos são originados principalmente de granitos, migmatitos e granitoides. Pertencendo a unidade São Jerônimo, o solo é classificado como Argissolo Vermelho Amarelo distrófico típico, possuindo rápida infiltração de água e baixa fertilidade natural (STRECK et al., 2008).

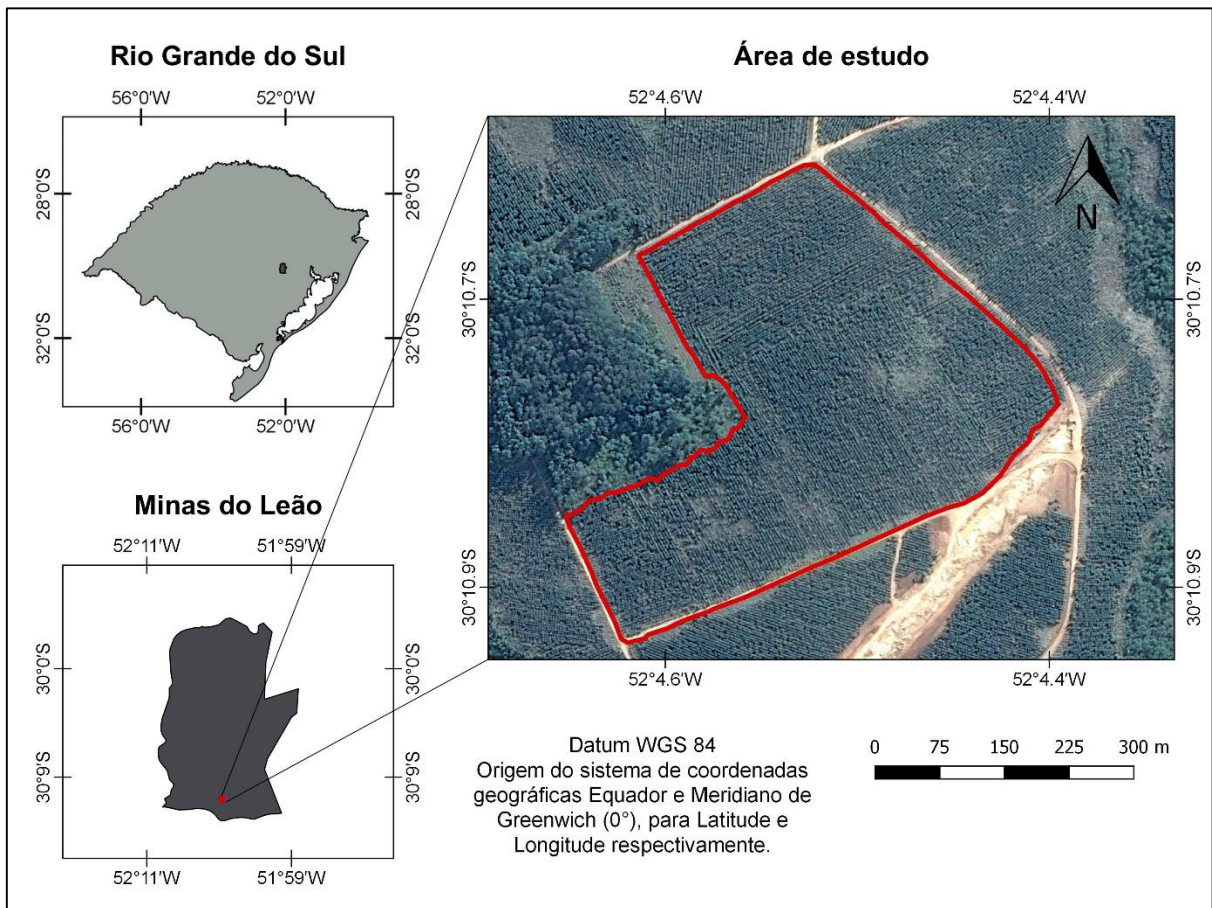
A área de estudo localiza-se no Bioma Pampa, Unidade de Vegetação Savana Estépica Arbórea Aberta apresentando uma cobertura arbórea aberta baixa dominada por espécies xeromorfas (RADAM, 1986). Caracteriza-se, especialmente, pela dominância de solos rasos com ou sem afloramentos rochosos, e até solos medianamente profundos. Nesta formação, as plantas distribuem-se por dois nítidos estratos. O primeiro, superior, esparsos, perenifoliado, ligado ou não a florestas-de-galeria, é formado por árvores baixas e arbustos. O estrato inferior, é constituído por gramíneas cespitosas, gramíneas rizomatosas invasoras de solos manejados (IBGE, 2012).

O talhão selecionado para este estudo, identificado como 006F, localiza-se no Horto florestal Pillar e pertence a empresa CMPC Rio Grande Celulose. Possui as coordenadas centrais no sistema SIRGAS 2000, sendo estas Lat. 30°10'47.65"S e Long. 52° 4'30.08"O, conforme apresentado na Figura 3.

A área de estudo possui 14,09 hectares com plantio do *Eucalyptus urograndis* o qual foi instalado em maio de 2015, com espaçamento de 2,15 m X 3 m, possuindo 14 meses de idade na data do levantamento. Desde os primeiros meses após a implantação foi relatado a ocorrência de uma doença que estava causando seca de ponteiros e mortalidade de alguns indivíduos, sendo identificada como *Erwinia psidii*,

uma bacteriose comumente relatada em *Psidium guajava*. Esta doença relativamente recente na cultura do Eucalipto ainda não tem seu mecanismo de patogenicidade totalmente esclarecido (COELHO e MENDES, 2002).

Figura 3 - Localização da área de estudo, talhão 006F, Horto Florestal Pillar.



Fonte: Autora.

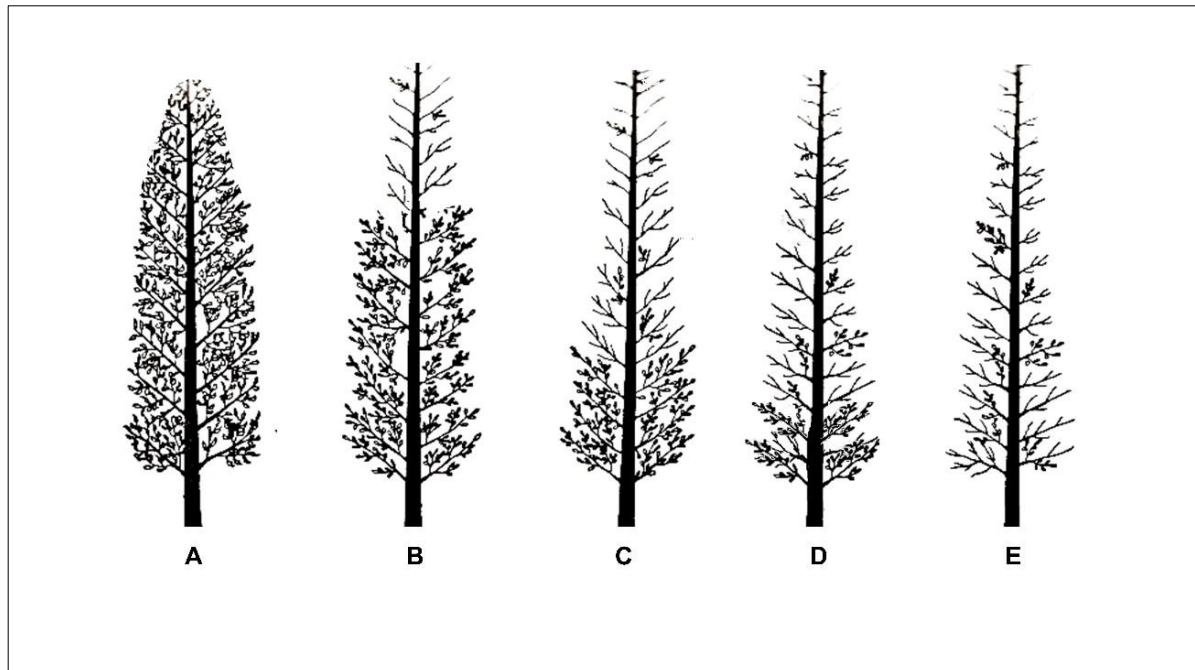
3.2 LEVANTAMENTO DE CAMPO

O levantamento de campo visou a caracterização sintomatológica da doença que se baseou em observações de campo de plantas naturalmente infectadas com a bacteriose. Os indivíduos foram avaliados conforme o nível de ataque apresentado, sendo classificados em quatro níveis de severidade pré-estabelecidos e descritos na Tabela 1, os níveis de severidade da doença foram adaptados escala proposta por Ferreira, (1989) para avaliar a seca de ponteiros ou “Dieback” de eucalipto. A Figura 4 representa os níveis de severidade da doença.

Tabela 1 - Níveis de severidade e descrição da doença.

Nível de severidade	Descrição
1	Sem ocorrência de <i>Erwinia psidii</i>
2	Pequena ocorrência de <i>Erwinia psidii</i> : menos de 30% da árvore
3	Média ocorrência de <i>Erwinia psidii</i> : até 50% da árvore
4	Alta ocorrência de <i>Erwinia psidii</i> : acima de 50% da árvore

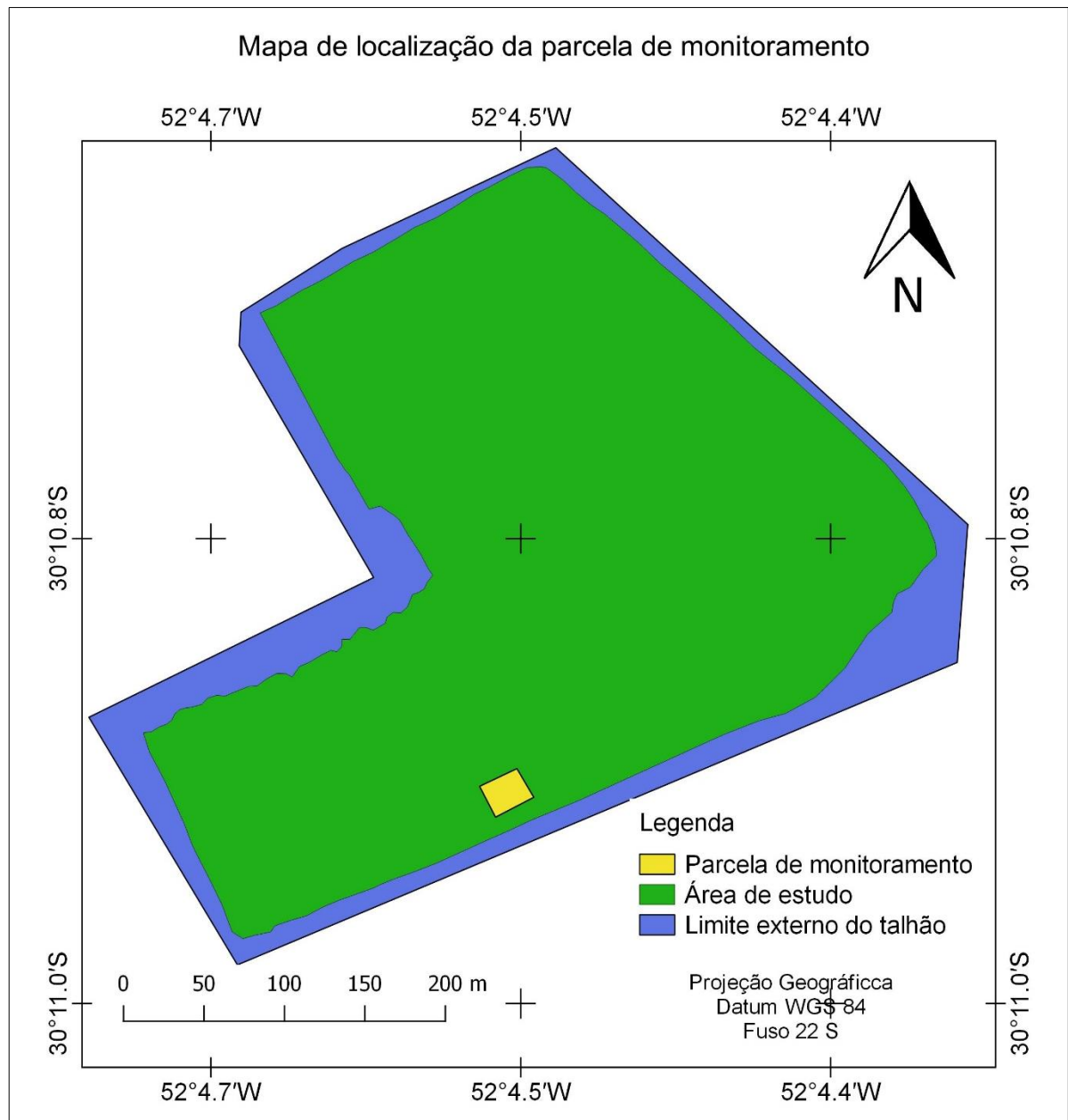
Figura 4 - Representação esquemática dos níveis de severidade A) árvore saudável B) pequena ocorrência da doença C) média ocorrência da doença D) alta ocorrência da doença E) árvore morta.



Fonte: Adaptado de Ferreira, (1989).

Foram avaliadas 95 árvores individualmente, distribuídas em dez linhas de plantio, localizadas em uma parcela de monitoramento contínuo implantada no talhão, com coordenadas centrais Lat. 30°10'53.85"S e Long. 52° 4'32.41"O, representada na Figura 5. Para delimitar a parcela foram levantados os vértices da mesma com o GPS Garmin eTrex 20, assim, localizada espacialmente foi possível criar um arquivo *shapefile* da parcela de monitoramento.

Figura 5 - Localização da parcela de monitoramento dentro da área de estudo.



Fonte: Autora.

3.3 LEVANTAMENTO AÉREO

O levantamento aéreo para obtenção das imagens foi realizado no dia 08/07/2016, por volta das 11 horas e 15 minutos, com as condições climáticas favoráveis ao voo. No momento do imageamento o céu estava parcialmente nublado, com temperatura mínima de 7.7°C e máxima 17.7 °C, umidade relativa do ar de

73,25%, ventos com velocidade de 1,1 m/s.. Essas informações foram coletadas da estação meteorológica de observação de superfície automática 83964 de Encruzilhada do Sul - RS, que fica a cerca de 72 km da área de estudo (INMET, 2016).

O VANT utilizado no levantamento aérea foi desenvolvido pela empresa PixForce (Figura 6). O VANT pesa 3,9 kg e tem a capacidade de carga de 1Kg, com autonomia de voo de 1h e 2,12 m de envergadura.

Figura 6 - VANT utilizado no levantamento aéreo.



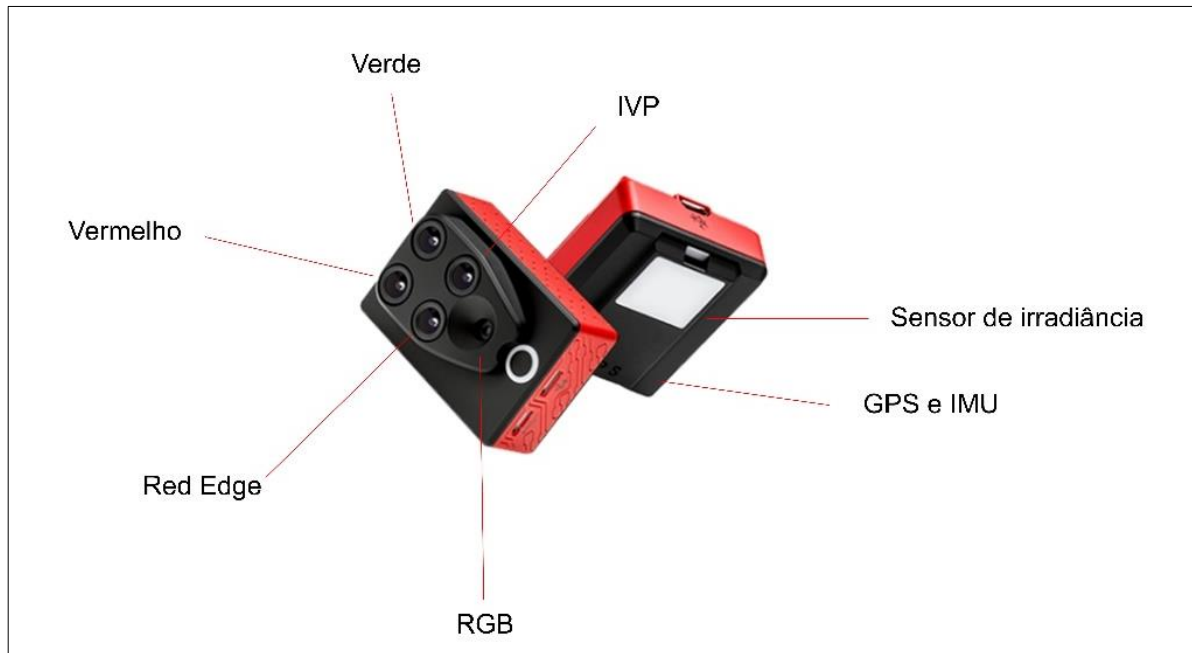
Fonte: Autora.

A velocidade média de voo foi de 18 m/s, a altitude de voo foi de 80 metros, com sobreposição longitudinal e lateral de imagens de 70%, obtendo uma imagem com resolução espacial de 10 cm, com precisão horizontal de 30 cm e resolução radiométrica de 8 bits. Foram tomadas 2.196 fotos, em 549 pontos e 14 linhas de voo.

As imagens foram pré-processadas pela empresa PixForce a fim de se obter um mosaico que recobrisse toda a área de estudo e entregues na forma de um ortomosaico digital multibandas.

O sensor embarcado no VANT foi o multibandas Parrot Sequoia MicaSense, que possui 72 g e 4 sensores espectrais autocalibrados através de um sensor solar integrado a câmera de 36g (Figura 7), realiza a calibração radiométrica das imagens em tempo real; é um sensor RGB integrado, facilitando assim o processamento das imagens e resultando em análises mais precisas (GEODRONES, 2016).

Figura 7 - Sensor Parrot Sequoia MicaSense.



Fonte: Adaptado de MicaSense (2016).

Esse sensor abrange faixas do espectro eletromagnético que permitem inúmeras análises, que iniciam na banda do verde até a banda do infravermelho próximo, conforme descrito na Tabela 2.

Tabela 2 - Características das bandas espectrais usadas no estudo.

Banda	λ inicial (nm)	λ final (nm)
1 – Verde	530	570
2 – Vermelho	640	680
3 – Red Edge	730	740
4 - Infravermelho próximo	770	810

3.3.1 Preparação das imagens

No software QGIS foi criado um projeto denominado Pillar, com sistema referência WGS 84 onde foram importados os ortomosaicos digitais. Primeiramente realizou-se testes de composição de bandas e observou-se os valores de tamanho de

pixel, números de linha e coluna e resolução radiométrica, para depois iniciar o trabalho de processamento das imagens.

Foram utilizados os valores digitais brutos (números digitais) das imagens multibandas, desconsiderando-se a interferência dos efeitos atmosférico sobre a imagem devido ao fato do levantamento ter sido feito a uma baixa altitude, além de não termos acesso aos parâmetros do sensor para realizar as correções radiométricas.

Primeiramente, criou-se uma máscara de corte em torno do talhão para reduzir a área de trabalho e eliminar porções da imagem com informações irrelevantes ao estudo. Além disso, o ortomosaico original foi separado nas quatro bandas espectrais que foram deixadas com 7325 linhas e 6835 colunas e tiveram suas resoluções radiométricas corrigidas para 8 bits, que é a resolução original do sensor.

3.4 AVALIAÇÃO DA REFLECTÂNCIA FOLIAR PARA AS BANDAS DO SENSOR

A partir dos pontos levantados com o GPS Garmin da parcela de monitoramento, e a criação do arquivo *shapefile* da parcela foi possível identificar na imagem as 95 árvores com possível ataque da doença identificadas na parcela de monitoramento na etapa de campo. Cada uma das árvores teve sua copa vetorizada manualmente, sobre a imagem multiespectral, possibilitando a extração dos dados espectrais de cada indivíduo amostrado.

A resposta espectral das copas foi avaliada pela média dos valores de ND de cada nível de severidade para as quatro bandas do sensor. Esses dados foram utilizados para o cálculo das estatísticas descritivas da reflectância espectral de superfície das bandas, tais como média, mediana, desvio padrão, amplitude, valor máximo, valor mínimo e coeficiente de variação.

3.5 CÁLCULO DOS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO PARA OS DIFERENTES NÍVEIS DE SEVERIDADE DE *Erwinia psidii*.

Foram selecionados onze índices de vegetação, que refletem o estado fisiológico das plantas, discriminados na Tabela 3, para a avaliação do estado fitossanitário do plantio. Esses índices foram calculados somente para as áreas de copas que foram vetorizadas.

O cálculo foi realizado utilizando-se a ferramenta ‘calculadora raster’ do software QGIS, onde foram inseridas as fórmulas de cada índice. Para a computação do índice SAVI as características da área pesquisada sugeriram a escolha de alguns valores de $L = 0,50$ e $L = 1$, indicados para baixa e média densidade de vegetação (CANDIAGO et al., 2015).

Tabela 3 - Funções de índices de vegetação utilizados no estudo.

	Nome	Descrição	Autor	Equação
1.	Viopt2	Optimized vegetation index2	Jasper et al., (2009)	$Viopt2 = \frac{NIR}{RedEdge}$
2.	SR	Razão simples	Rouse et al., (1974)	$SR = \frac{NIR}{Red}$
3.	MTCI	Índice terrestre de clorofila	Dash e Curran, (2004)	$MTCI = \frac{(NIR - RedEdge)}{(RedEdge - Red)}$
4.	GNDVI	Diferença normalizada no verde	Gitelson et al., (1996)	$GNDVI = \frac{(NIR - Green)}{(NIR + GREEN)}$
5.	PSRI	Índice de Reflectância de Senescência das Plantas	Merzlyak et al., (1999)	$PSRI = \frac{(Red - Green)}{RedEdge}$
6.	NDVI	Índice de vegetação da diferença normalizada	Rouse et al., (1974)	$NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + RED)}$
7.	NDVI <i>RedEdGe</i>	Índice de vegetação da diferença normalizada com a banda Red Edge	Gitelson e Merzlyak, (1994)	$NDVIRedEdge = \frac{(NIR - RedEdge)}{(NIR + RedEdge)}$

	Nome	Descrição	Autor	Equação
8.	C_{Igreen}	Green Chlorophyll Index	Gitelson et al., (2005)	$CL_{green} = \left[\frac{NIR}{Green} \right] - 1$
9.	CL_{RedEdge}	Red Edge Chlorophyll Index	Gitelson et al., (2005)	$CL_{RedEdge} = \left[\frac{NIR}{RedEdge} \right] - 1$
10.	SAVI	Índice de vegetação ajustado para solo	Huete, (1988)	$SAVI = \left[\frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red + L)} \right] + (1 + L)$
11.	RVI	Índice de vegetação reverso	Jacobsen; Pedersen; Jensen, (1998)	$RVI = \frac{RED}{NIR}$

3.5.1 Análises estatísticas

Sabendo-se que a utilização dos números digitais para cálculos dos índices não permite uma análise quantitativa dos dados, realizou-se apenas uma análise qualitativa dos índices de vegetação estudados. A partir disso foram feitas as análises estatísticas da área de interesse (copas das árvores) utilizando-se a ferramenta ‘Estatísticas por zonas’ do software QGIS. Esta ferramenta permite calcular os seguintes parâmetros: Soma dos valores dos pixels, Média, Mediana, Desvio Padrão, menor valor de pixel (Mínimo), maior valor de Pixel (máximo) e Variabilidade. Esta ferramenta agrega os resultados à tabela de atributos do arquivo vetorial utilizado como base para o cálculo, que pode ser exportada para um arquivo Excel. As copas vetorizadas das 95 árvores foram categorizadas conforme o nível de incidência da doença, permitindo a obtenção dos valores médios de cada índice para cada copa e para cada nível de severidade da doença.

Posteriormente os dados obtidos foram analisados quanto a sua condição de distribuição normal ou não, utilizando-se para tanto o teste estatístico de Shapiro-Wilk. Com isso foi possível definir o tipo de teste a ser aplicado na análise estatística, ou seja, teste paramétrico para amostras com distribuição normal e não paramétrico para amostras sem distribuição normal. Para isso foi utilizado o programa RGui 3.3.2. Para

verificar a Homogeneidade da variância dos dados foi utilizado o teste de Levene, pertencente ao pacote “car”. O protocolo utilizado para as análises pode ser consultado no Apêndice A.

Os dados foram submetidos ainda a Análise de Variância, que visa testar a hipótese nula de que as médias amostrais são todas iguais (SPIEGEL, 1993). As premissas para o teste F da ANOVA é que todas as populações subjacentes são assumidas como normalmente distribuídas e com iguais variâncias (WITTE; WITTE, 2005).

Com base nos dados obtidos na análise de variância, procedeu-se com os testes de Kruskal-Wallis e Wilcoxon. O teste de Kruskal Wallis, também conhecido como teste *H*, fornece um método não paramétrico para a análise de variância para classificação de um critério ou experimentos com um fator (SPIEGEL, 1993). O teste de Wilcoxon foi realizado com o objetivo de avaliar se as médias do índice de vegetação diferem entre os grupos de severidade.

3.6 APLICAÇÃO DE ÍNDICE DE VEGETAÇÃO PARA AVALIAÇÃO FITOSSANITÁRIO EM PLANTIOS DE *Eucalyptus urograndis*

O índice de vegetação considerado significativo pelas análises estatísticas foi aplicado para a área de estudo gerando-se uma imagem índice de vegetação a qual foi aplicado um esquema de falsa cor para realce das feições, que possibilita a melhor visualização das áreas com cobertura vegetal e solo exposto.

Foram calculadas as estatísticas descritivas do índice de vegetação, tais como média, mediana, desvio padrão, menor valor de pixel (mínimo), maior valor de pixel (máximo) e variabilidade com a ferramenta ‘Estatísticas por zonas’ e posteriormente os dados foram exportados para um arquivo Excel.

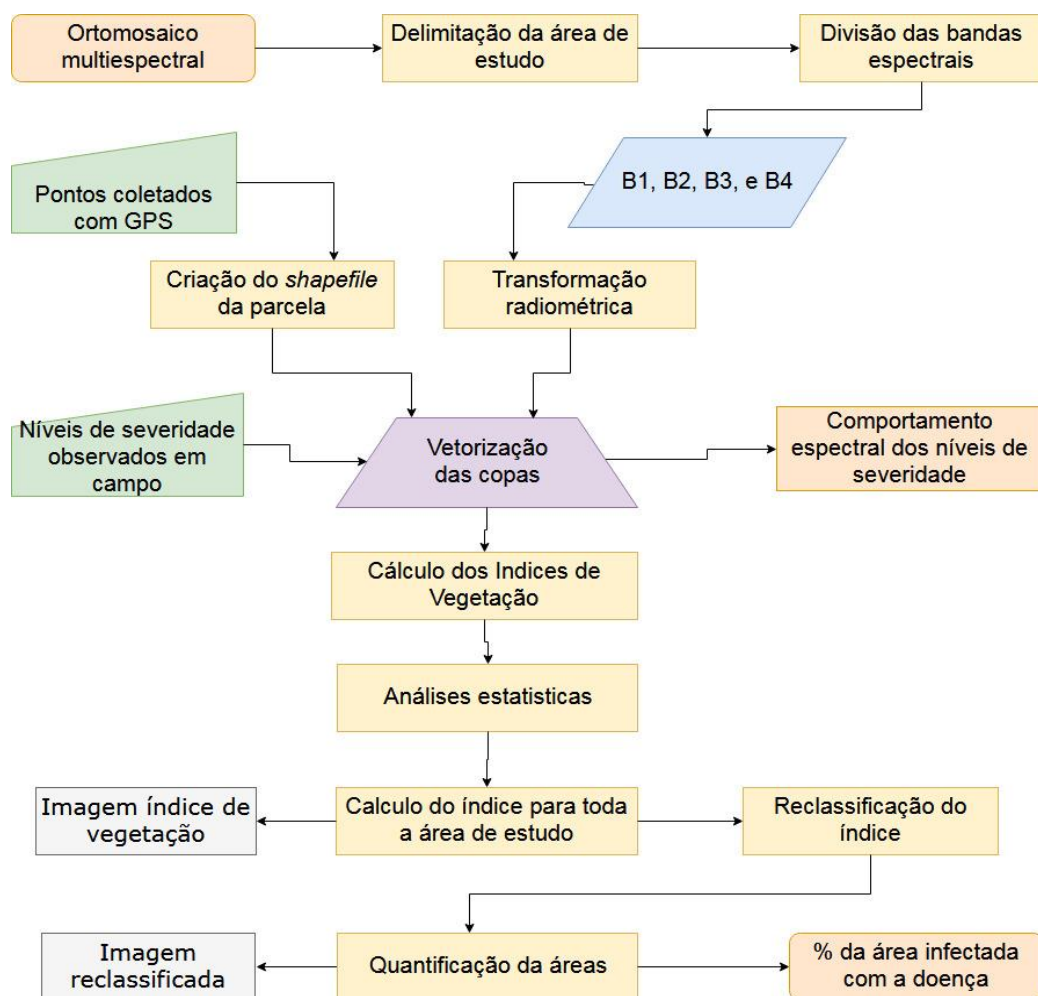
3.6.1 Reclassificação do índice

O índice indicado pela análise estatística como significativo, e calculado para a área de estudo foi reclassificado utilizando o algoritmo “*r.recode*” do GRASS existente no QGIS. Esta operação visa a separabilidade das classes de cada índice, permitindo assim a contagem de pixels em cada classe e a quantificação da área ocupada por cada uma delas.

Foram realizados testes de reclassificação, utilizando 4, 5, 6, 8, 10, 20 e 35 e 137 classes de intervalos iguais baseadas nos valores de mínimo, máximo, média e desvio padrão do índice e, também nos valores de reflectância de cada nível de severidade da doença.

Para quantificar cada classe utilizou-se o algoritmo “*r.report*” do GRASS, este algoritmo gera um relatório de áreas, possibilitando o cômputo em metros quadrados ou hectares de cada classe. O objetivo desta operação foi avaliar saúde da vegetação de acordo com a as classes propostas na reclassificação do índice e indicar em qual classe encontram-se os níveis de severidade da doença, além de indicar a porcentagem da área do plantio comprometida com a ocorrência da bacteriose *Erwinia psidii*. A Figura 8 apresenta um fluxograma de todas as atividades realizadas neste estudo.

Figura 8 - Fluxograma das atividades realizadas neste estudo.



Fonte: Autora.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 LEVANTAMENTO DE CAMPO

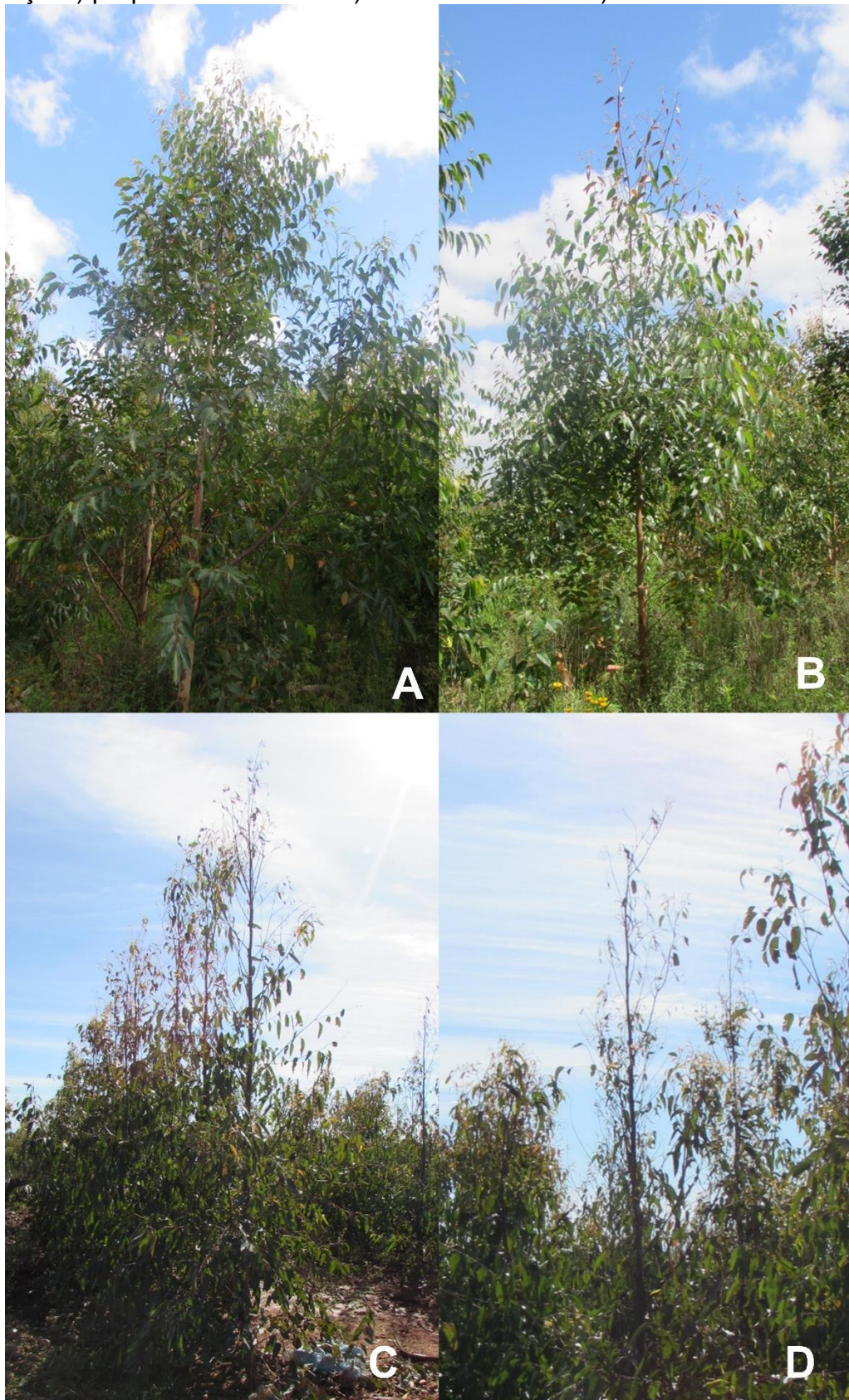
O levantamento de campo resultou na coleta dados sobre 95 árvores quanto à sua classificação de severidade da doença, registrados em uma tabela de campo que se encontra no Apêndice B. A Tabela 4 traz os resultados encontrados na parcela de monitoramento quanto ao número de indivíduos distribuídos nos níveis de severidade e sua representação em porcentagem na parcela.

Tabela 4 - Ocorrência de indivíduos em cada nível de severidade da doença

Nível de severidade	Descrição	Nº indivíduos	%
1	Sem ocorrência de <i>Erwinia psidii</i>	34	35,78
2	Pequena ocorrência de <i>Erwinia psidii</i> : menos de 30% da árvore	40	42,10
3	Média ocorrência de <i>Erwinia psidii</i> : até 50% da árvore	20	21,05
4	Alta ocorrência de <i>Erwinia psidii</i> : acima de 50% da árvore	1	1,05

Em geral, os sintomas da doença observados em campo caracterizam-se por seca de ponteiros nos ramos jovens das plantas. As plantas consideradas em nível 2 de severidade apresentam secamento apenas na parte superior da copa, representando 42,10% da parcela, as árvores em nível 3 de severidade representam 21,05% das árvores levantadas e o secamento dos ramos jovens é maior, levando a perda parcial das folhas. As árvores em nível 4 de apresentam secamento dos ramos mais severo com grande perda das folhas, mais de 50%. A Figura 9 demonstra os níveis de severidade da doença encontradas na parcela de monitoramento.

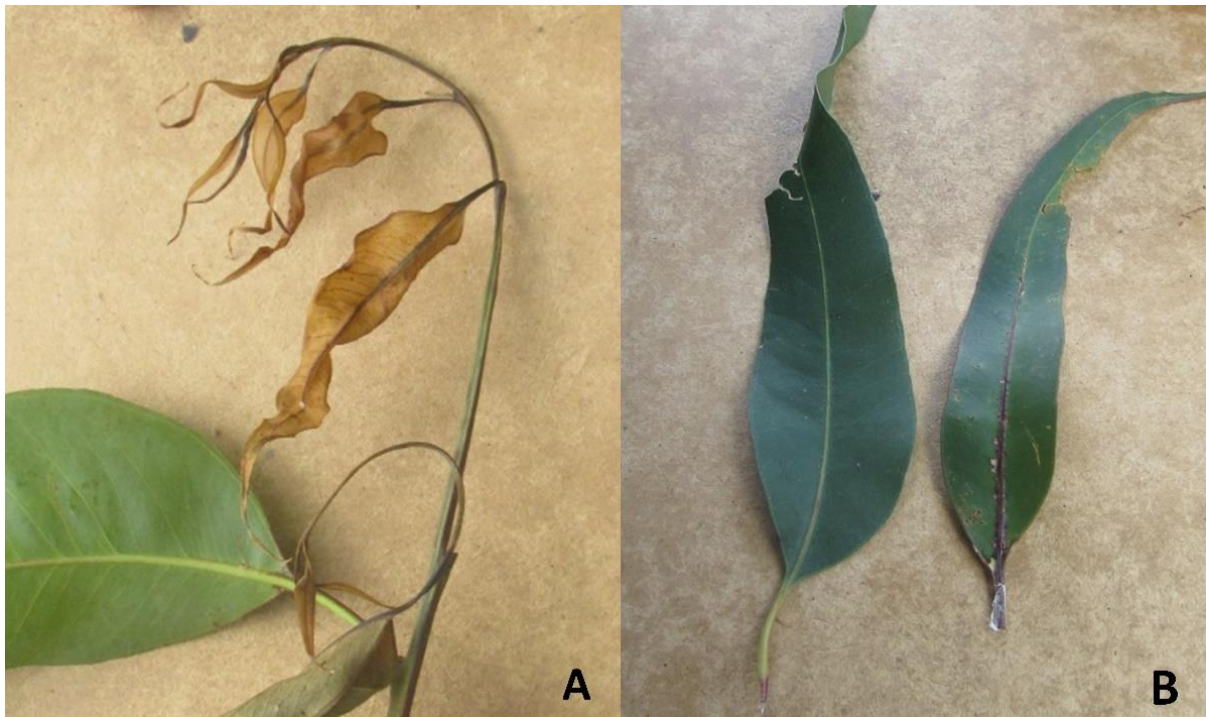
Figura 9 - Níveis de severidade da doença encontrados em campo. A) sem ocorrência da doença B) pequena ocorrência C) média ocorrência D) alta ocorrência.



Fonte: Autora.

Observou-se um arroxamento do pecíolo e das nervuras cujas folhas posteriormente murcham e secam. Manchas de aspecto encharcado adjacentes à nervura central das folhas também foram observadas em folhas mais velhas. Como pode ser observado na Figura 10.

Figura 10 - Detalhe dos sintomas de *E. psidii* em *Eucalyptus urograndis* A) Secamento de folhas jovens B) Arroxamento no pecíolo e nervura principal em folha madura comparada com uma folha sem sintoma da doença.



Fonte: Autora.

De acordo com Arriel (2012) a patogenicidade de *E. psidii* a *Eucalyptus* spp. está mais relacionada à introdução de novas espécies e híbridos, do que a uma especiação do patógeno, ao contrário do que sugere Hermengildo (2015) que a infecção de *E. psidii* em *Eucalyptus* spp. é resultado de uma adaptação recente do patógeno ao eucalipto.

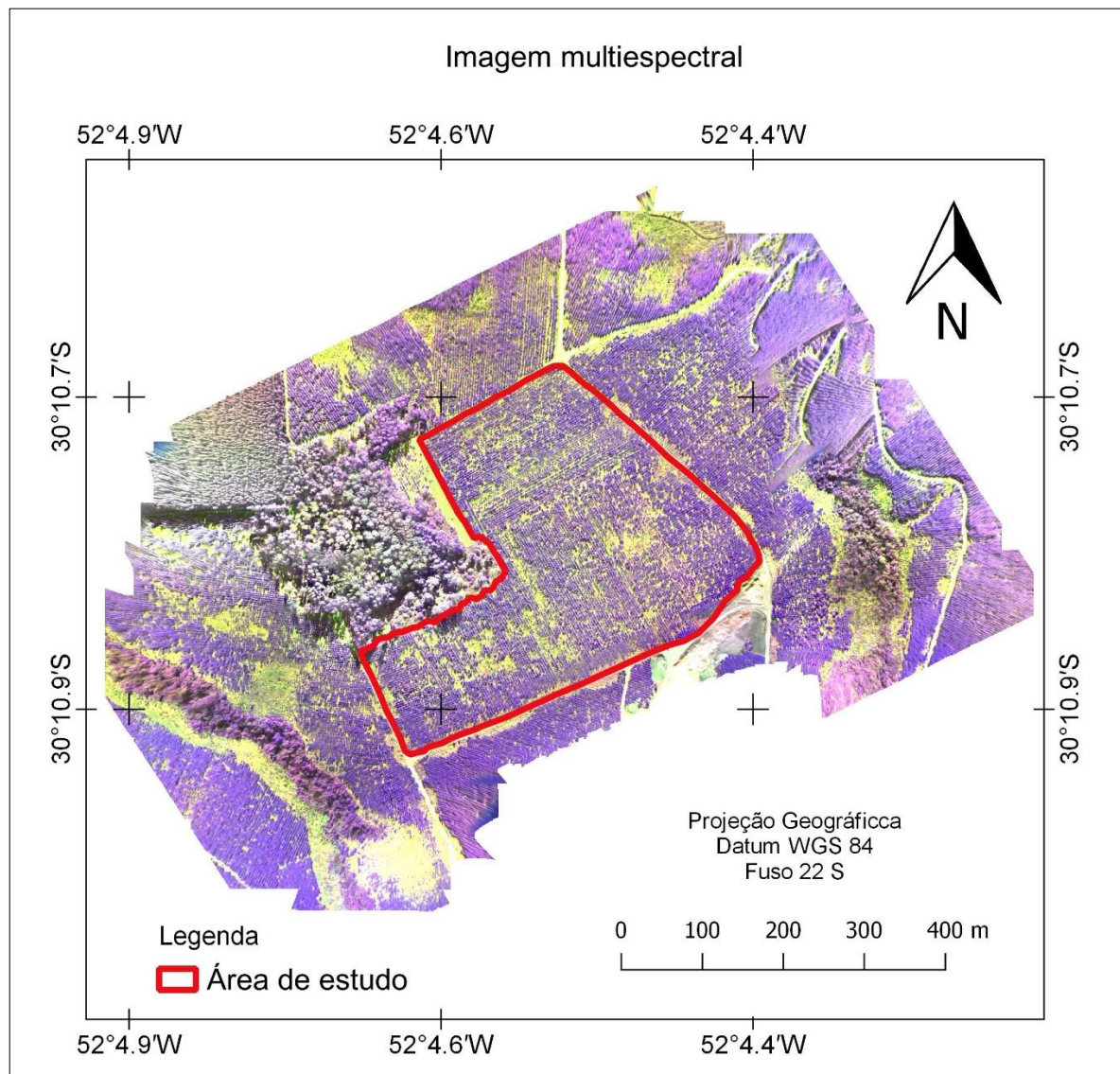
Como a ocorrência de *E. psidii* em eucalipto é recente, ainda não se conhece exatamente o mecanismo de infecção e não há dados disponíveis sobre danos econômicos ou do real potencial do patógeno para a cultura (ARRIEL, 2012) Por isso a importância de estudos mais aprofundados sobre a doença, bem como o

desenvolvimento de técnicas para identificação e quantificação rápida e precoce da doença que subsidiem as decisões de manejo.

4.2 LEVANTAMENTO AÉREO

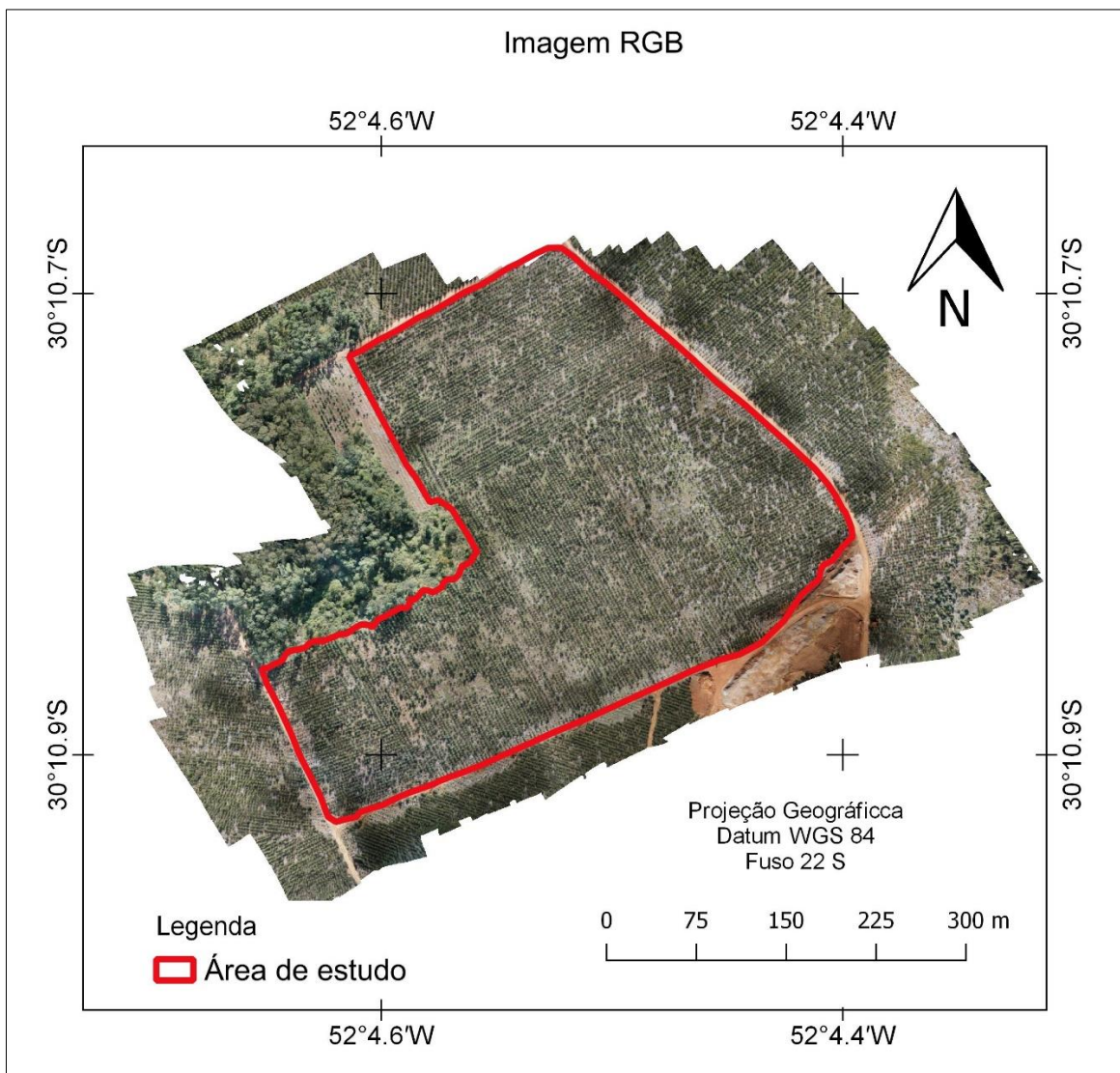
O levantamento aéreo resultou em dois ortomosaicos georreferenciados com precisão horizontal de 30 cm, um multiespectral composta pelas bandas verde (B1), vermelho (B2), *RedEdge* (B3) e IVP- Infravermelho próximo (B4) (Figura 11) e, outro com as bandas (RGB) verde, vermelho e azul (Figura 12).

Figura 11 - Imagem multiespectral (composição das bandas verde, vermelho, RedEdge e IVP), do talhão 006F, adquirida em 08/07/16.



Fonte: Autora.

Figura 12 - Imagem RGB (composição das bandas vermelha, verde e azul) do talhão 006F, adquirida em 08/07/16.

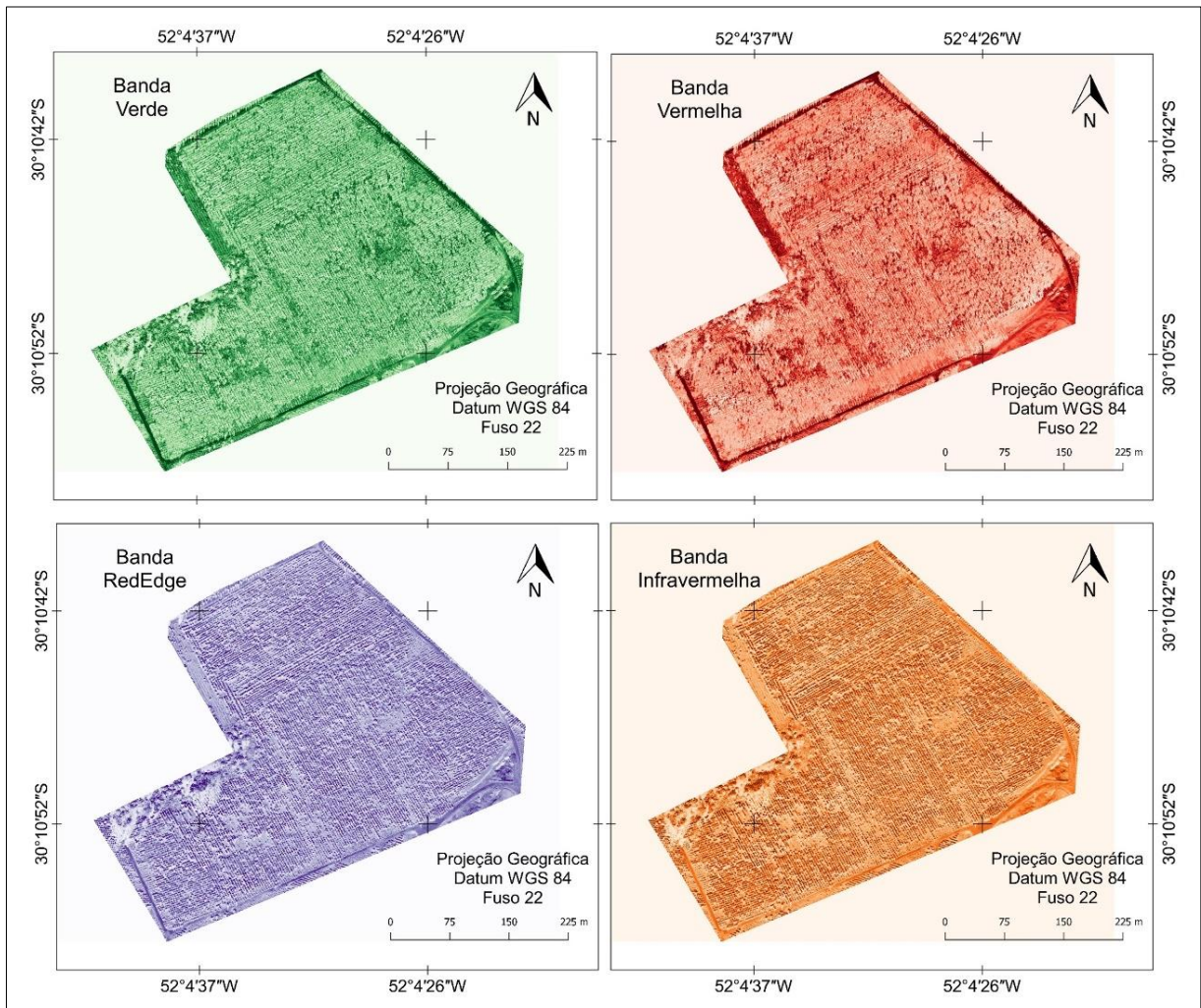


Fonte: Autora.

4.2.1 Preparação das imagens

Foi criada uma máscara de corte para reduzir o tamanho da imagem gerada no levantamento aéreo, essa máscara permitiu reduzir a área de trabalho especificamente para a área do plantio e partir da imagem multiespectral recortada foi realizada a separação do ortomosaico nas quatro bandas espectrais do sensor, o resultado é apresentada na Figura 13, cada uma das bandas possui 8 Bits de resolução radiométrica, 7325 linhas e 6835 colunas.

Figura 13 - Divisão da imagem em bandas espectrais do sensor multibandas Parrot Sequoia MicaSense.

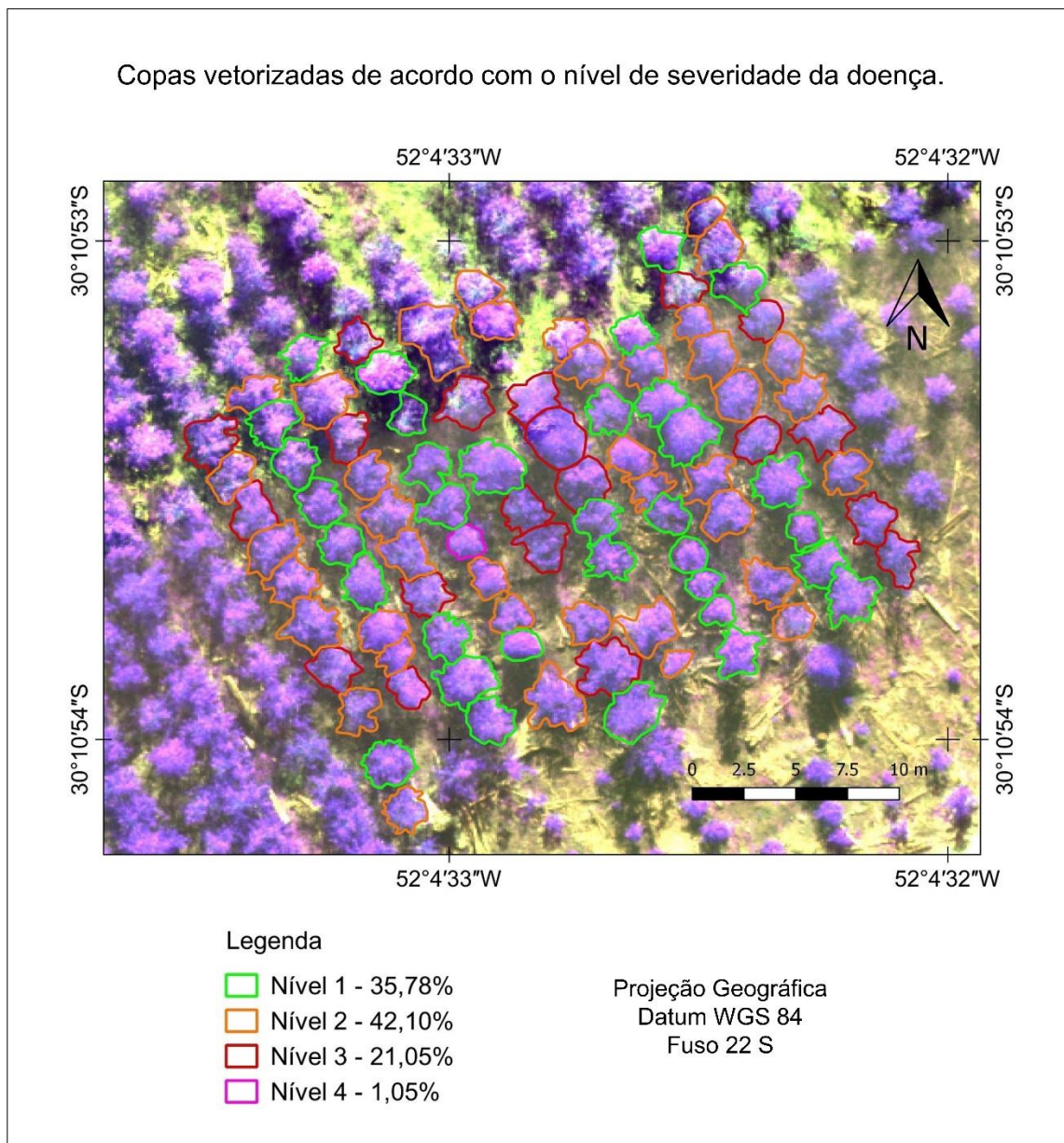


Fonte: Autora.

4.3 AVALIAÇÃO DA REFLECTÂNCIA FOLIAR PARA AS BANDAS DO SENSOR.

A reflectância foliar para as quatro bandas do sensor foi avaliada a partir da média dos valores de números digitais das 95 copas de árvores vetorizadas sobre a imagem multiespectral e classificadas segundo os níveis de severidade são apresentadas na Figura 14.

Figura 14 - Vetorização manual das copas e classificação. Sendo que, Nível 1: sem ocorrência da doença; Nível 2: pequena ocorrência da doença; Nível 3: média ocorrência da doença; Nível 4: alta ocorrência da doença.



Fonte: Autora.

Uma análise exploratória dos dados permitiu identificar o comportamento de cada banda (Tabela 5). As bandas que apresentaram maior amplitude foram a 3, seguida pela banda 4. A banda 2 apresentou menor amplitude. Da mesma forma para o coeficiente de variação (CV%), que se apresentou maior para a banda 3, seguido pela 4 e 2.

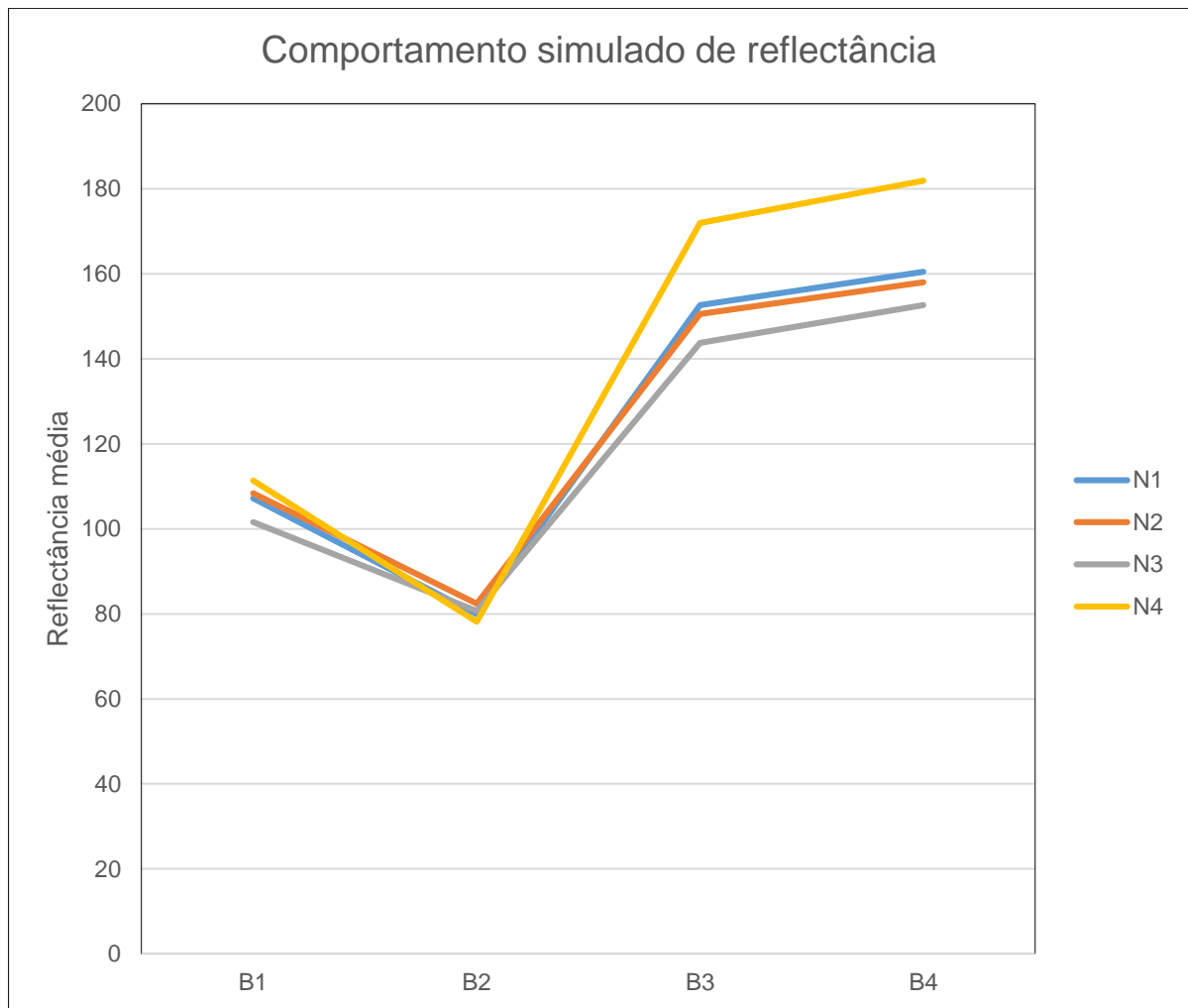
Tabela 5 - Estatísticas descritivas da reflectância espectral de superfície das bandas do sensor Sequoia para os níveis de severidade de *Erwinia psidii* em *Eucalyptus urograndis*.

		Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4
1 (Verde)	Média	106,8333	108,4655	101,9279	111,3343
	Mediana	103,8824	105,6026	98,25	110
	Desvio Padrão	28,87438	29,71094	27,382	28,20074
	Mínimo	51,94118	53	48,95	54
	Máximo	193,2941	197,3846	185,95	198
	Amplitude	141,3529	144,3846	137	144
	CV%	27,02751	27,39206	26,86409	25,32978
2 (Vermelho)	Média	80,39394	82,48319	79,818	78,1213
	Mediana	79	80,80769	78,05	78
	Desvio Padrão	16,74846	17,99102	16,76916	12,34154
	Mínimo	47,20588	48,28205	44,25	52
	Máximo	136,0882	147,7436	137,35	132
	Amplitude	88,88235	99,46154	93,1	80
	CV%	20,83298	21,81174	21,00924	15,79792
3 (RedEdge)	Média	151,4378	150,5091	145,8773	171,9467
	Mediana	149,7059	147,859	143,75	174
	Desvio Padrão	46,91072	45,74617	43,23355	49,88054
	Mínimo	58,91176	59,92308	56,65	73
	Máximo	248,9118	248,5641	248,7	255
	Amplitude	190	188,641	192,05	182
	CV%	30,97689	30,3943	29,63693*	29,0093
4 (IVP)	Média	159,2322	157,9353	154,8773	181,9053
	Mediana	159,1029	156,2692	153,525	183,5
	Desvio Padrão	46,50791	45,40883	43,48515	47,61678
	Mínimo	63,32353	63,82051	60,75	84
	Máximo	248,8235	249	248,25	255
	Amplitude	185,5	185,1795	187,5	171
	CV%	29,20761	28,75154	28,07717	26,17668

*Maior valor de CV%.

Com os valores médios das reflectâncias espectrais dos níveis de severidade, construiu-se o gráfico da assinatura espectral simulado (Figura 15). Este apresenta o comportamento espectral dos níveis de severidade 1, 2 3 e 4 e para as diferentes bandas do sensor.

Figura 15 - Média da reflectância dos níveis de severidade nas 4 bandas espectrais do sensor Sequoia.



Legenda: B1 - Banda 1; B2 - banda 2; B3 – Banda 3; B4 – Banda 4; N1 – Nível de severidade 1; N2 – Nível de severidade 2; N3 – Nível de Severidade 3; N4 – Nível de severidade 4.

Fonte: Autora.

Observa-se de forma geral, na banda 1 uma maior reflectância, sendo reduzida na banda 2, para os quatro níveis de severidade. Nas bandas 3 e 4 observa-se o aumento da reflectância, seguindo o comportamento espectral típico das folhas verdes.

A menor reflectância das folhas na região do visível deve-se à absorção da radiação solar pelos pigmentos presentes nos cloroplastos, enquanto que a maior reflectância na região do infravermelho próximo deve-se ao espalhamento da radiação solar no mesófilo, que ocorre devido à interação da radiação solar com a estrutura interna das folhas (DE OLIVEIRA et al., 2007).

Analisando-se as curvas de refletância apresentadas na Figura 15, de acordo com os níveis de severidade observa-se que os níveis de severidade 1 e 2 apresentam valores de reflectância muito próximos. O nível 3 de severidade, é composto por árvores com média ocorrência de *Ewinia psidii*, apresenta uma leve redução de reflectância na bandas 1, 3 e 4 em relação a todos os outros níveis.

Considerando o nível 3 de severidade, com ocorrência média do doença podemos dizer que a planta está sob estresse moderado, nesta situação ocorre o fechamento estomático e a redução da atividade fotossintética (SMIGAJ et al., 2015) o que acarreta a redução da reflectância na região do verde.

Considerando os níveis 3 e 4, não se deve desconsiderar a influência de outros constituintes da vegetação, como galhos e troncos. Segundo Asner (1998), para os galhos, a variação na reflectância vai de 20 a 45%, acarretando a maior reflectância no IVP e menor na região do visível. Dessa forma a presença desses constituintes pode ter influenciado o aumento da reflectância na região do IVP para esses níveis de severidade, que possuem menos folhas, devido ao secamento e queda ocasionados pela doença.

O nível 4 de severidade possui maior reflectância nas bandas 1, 3 e 4, em comparação com os outros níveis. Apenas na banda 2 possui a reflectância reduzida, uma vez que esta banda corresponde a faixa espectral do vermelho (660 nm), região que ocorre maior absorção de clorofila nas folhas. A maior reflectância na banda 1 é explicada devido a menor atividade fotossintética que ocorre com a senescência das plantas (MOREIRA, 2007).

A posição da banda *rededge* (3) pode constituir um indicador significativo para discriminação de plantas contaminadas, pois essas plantas sofrem alteração na concentração de pigmentos e na estrutura foliar, as alterações das concentrações de pigmentos (carotenos e clorofila) produzem alterações na absorção da REM em comprimentos de onda específicos que podem estar relacionados com a posição *rededge* (MORIYA, 2015).

A posição da banda *rededge* é o ponto de mudança repentina na reflectância de absorção do vermelho próximo-máximo ao início do aumento significativo na reflectância ao longo do limite (borda) do vermelho. Nessa região do vermelho, é encontrado o pico mais sensível ao stress da planta (BRANDELERO, 2010).

Nesse sentido pode-se observar que o nível 4, considerado de maior severidade da doença, possui maior reflectância na região do *rededge*, diferenciando-se dos demais níveis. O mesmo nível de severidade apresenta também alta reflectância na banda 4, região do IVP, região sensível às alterações da estrutura interna da folha. Segundo Jensen (2009), a reflectância no infravermelho é um indicador consistente do estresse somente quando ocorre severa desidratação foliar.

De acordo Brenchley (1968), plantas afetadas por doenças geralmente apresentam crescimento reduzido e sintomas de amarelecimento, que proporcionam contraste na resposta espectral em relação as saudáveis. Embora as alterações espectrais no visível sejam facilmente aparentes na vegetação estressada, os efeitos são sutis em comparação com as mudanças no *rededge* (ADAMS; PHILPOT; NORVELL, 1999).

Quando uma planta está sob estresse e/ou a produção de clorofila diminui, a falta de clorofila faz com que a planta absorva menor quantidade de energia nas respectivas bandas de absorção da clorofila. Estas plantas terão uma reflectância bem maior, principalmente no verde e no vermelho do espectro, fazendo com que apareçam amarelas ou cloróticas (JENSEN, 2009).

No caso da ocorrência de *Erwinia psidii*, a média de reflectância simulada do nível 4 de severidade diferenciou-se dos demais. Resultados similares foram obtidos por Lippert (2011), ao avaliar folhas da porção superior da copa de *Eucalyptus globulus*, atacadas com *Mycosphaerella spp.*, onde encontrou diferença significativa no comportamento espectral na região do IVP e visível para o nível “muito” (nível 4), na estação climática do inverno.

4.4 AVALIAÇÃO DOS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO PARA DIFERENTES NÍVEIS DE SEVERIDADE DE *Erwinia psidii*.

Na tentativa de facilitar a utilização de imagens para a detecção de doenças, neste trabalho foram propostos onze índices de vegetação para a detecção de *Erwinia psidii* em *Eucalyptus urograndis*. Os índices de vegetação foram calculados para as

copas vetorizadas e categorizadas, sobre a imagem multiespectral. Os valores médios dos índices obtidos para os quatro níveis de severidade são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Valores médios dos índices de vegetação de acordo com os níveis de severidade.

Índice (IVs)	Nível Severidade			
	1	2	3	4
CL_{green}	0,516	0,480	0,519	0,635
CL_{rededge}	0,059	0,057	0,068	0,069
GNDVI	0,193	0,182	0,195	0,238
MTCI	0,168	0,159	0,202	0,154
NDVI	0,319	0,301	0,294	0,386
NDVI_{rededge}	0,027	0,026	0,033	0,032
PSRI	-0,163	-0,158	-0,131	-0,182
RVI	0,532	0,554	0,561	0,446
SAVI_{0,5}	1,818	1,801	1,794	1,886
SAVI₁	2,318	2,300	2,293	2,385
SR	2,047	1,966	1,923	2,298
VIOPT2	1,059	1,057	1,068	1,069

Cada índice possui um objetivo e uma característica específica, porém, podemos analisa-los agrupando-os segundo suas generalidades, por exemplo, os índices que utilizam a banda *rededge*: VIOPT2, MTCI, PSRI, NDVI_{rededge} e CL_{rededge}, são índices designados para caracterizar variações espectrais associadas com a posição da borda vermelha, a qual pode ser afetada por variações no conteúdo de clorofila e água nas folhas. Enquanto que em sentido amplo, NDVI, SR, RVI, GNDVI e CL_{green} são índices relacionados aos pigmentos foliares (SOUZA; GALVÃO; SANTOS, 2009) e biomassa. O NDVI é muito sensível a variações do substrato sob o dossel e altamente relacionado com o IAF (JENSEN, 2009).

Dentre os índices do primeiro grupo, o PSRI apresentou as menores médias para todos os níveis, seguido do NDVI_{rededge}, enquanto que o VIOPT2 apresentou as maiores médias, No segundo grupo observamos que o índice SR apresentou as

maiores médias e o índice GNDVI as menores. Em linhas gerais o SAVI 1 apresentou as melhores médias de todos os índices.

No estudo de Goergen (2014), com *Eucalyptus urograndis* de 2,2 anos e dados do sensor TM, foram encontrados valores médios de NDVI = 0,9235, SR= 26,3046, e GNDVI = 0,9002, sendo estes superiores aos encontrados neste estudo, até mesmo para o nível em que não há ocorrência da doença. O mesmo trabalho encontrou valores médios de SAVI_{0,5} = 0,6006, valor inferior ao encontrado neste estudo, este fato pode ser explicado porque os IVs foram calculados apenas para área das copas, minimizando as áreas de solo exposto.

Segundo (APAN et al., 2003), vários índices de vegetação são funcionalmente redundantes em conteúdo de informação, dificultando sua escolha para finalidades específicas. Isso foi verificado neste estudo, visto que alguns índices apresentam comportamentos semelhantes, como por exemplo VIOPT2 e CL_{redege} que apresentaram menor média para nível 2, e maior para nível 4 enquanto que NDVI e SR apresentaram menor média para nível 3, e maior para nível 4, Segundo Jensen (2009) o NDVI é funcionalmente equivalente ao SR.

De acordo com (GALVÃO et al., 1999), existem diversos fatores que interferem na obtenção dos IVs, podendo ser separados em dois grupos: fatores relacionados à superfície observada e fatores relacionados à obtenção de dados. Fatores relacionados à superfície observada incluem os aspectos intrínsecos à vegetação, que influenciam diretamente nas medidas espectrais dos sensores. Fatores relacionados ao processo de obtenção dos dados envolvem as características do sensor, como a largura e posicionamento das bandas e calibração do equipamento, bem como a geometria, iluminação do solo e de visada do sensor e os efeitos atmosféricos (absorção e espelhamento).

4.4.1 Estatística dos índices

Para as análises estatísticas dos índices considerou-se cada árvore como uma observação, totalizando 95 observações, distribuídas nos 4 níveis de severidade. Os dados utilizados para análise estatística referem-se aos valores médio dos onze IVs, apresentados anteriormente.

A Tabela 7 traz os resultados do teste de Shapiro-Wilk que objetivou analisar a normalidade dos dados a 95% de confiança. Considerando as a Hipótese $H_0 =$ dado

com distribuição normal e H_1 = dado não atende a normalidade, caso p-valor for maior que o nível de significância (considerado neste caso igual a 0,05) aceita-se a hipótese H_0 .

Tabela 7 - Resultados do teste estatístico de Shapiro-Wilk, para cada IV.

Índice	Estatística Shapiro Wilk (W)	P-valor
CI_{green}	0,97451	0,06283
CI_{rededge}	0,97687	0,09397
GNDVI	0,97624	0,08449
MTCI	0,9916	0,8223
NDVI_{RedEdge}	0,98019	0,1651
NDVI	0,97648	0,08796
PSRI	0,93728	0,0002142*
RVI	0,98179	0,2156
SAVI_{0,5}	0,98023	0,166
SAVI₁	0,98026	0,1671
SR	0,92777	6,305e-05*
VIOPT2	0,97687	0,09397

*Diferença significativa ao nível de 0,05%.

Observa-se na Tabela 7 que nem todos os índices apresentaram distribuição normal, os índices PSRI e SR não apresentaram normalidade, portanto para estes não foi realizado o teste de homogeneidade, visto que são pressupostos básicos para a análise de variância.

O teste de Levene visou verificar a homogeneidade das variâncias, considerando as a Hipótese H_0 = dados com homogeneidade das variâncias e H_1 = dados não possuem homogeneidade das variâncias, caso $Pr(>F)$ for maior que o nível de significância (considerado neste caso igual a 0,05) aceita-se a hipótese H_0 , A Tabela 8 traz os resultados do teste para os índices de vegetação.

Tabela 8 - Resultados do teste estatístico de Levene para homogeneidade das variâncias.

Índice	Df	F	Pr (>F)
CI_{green}	3	0,6149	0,6071
	90		
CI_{rededge}	3	0,6608	0,5783
	90		
GNDVI	3	0,6355	0,5941
	90		
MTCI	3	0,6033	0,6145
	90		
NDVI_{rededge}	3	0,659	0,5794
	90		
NDVI	3	0,6653	0,5755
	90		
RVI	3	0,75	0,5252
	90		
SAVI_{0,5}	3	0,6642	0,5762
	90		
SAVI₁	3	0,663	0,5769
	90		
VIOPT	3	0,6608	0,5783
	90		

*Diferença significativa ao nível de 0,05%.

Segundo o teste de Levene todas as médias possuem homogeneidade das variâncias. Sendo os dados considerados normais e homogêneos estatisticamente, procedeu-se com a Análise da variância, a nível de 95% de confiança, Se Pr (>F) for maior que o nível de significância (considerado neste caso igual a 0,05) considera-se significativo, os são resultados apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 - Análise da variância para os índices estudados

	F. V.	GL	SQ	SQ	F	Pr(>F)
CI_{green}	Nível de Severidade	3	0,0484	0,01612	1,473	0,227
	Resíduo	90	0,9847	0,01094		
	F. V.	GL	SQ	SQ	F	Pr(>F)
CI_{rededge}	Nível de Severidade	3	0,00179	0,0005952	1,573	0,201
	Resíduo	90	0,03405	0,0003784		
	F. V.	GL	SQ	SQ	F	Pr(>F)
GNDVI	Nível de Severidade	3	0,00556	0,001854	1,608	0,193
	Resíduo	90	0,10374	0,001153		
	F. V.	GL	SQ	SQ	F	Pr(>F)
MTCI	Nível de Severidade	3	0,0254	0,008480	1,885	0,138
	Resíduo	90	0,4048	0,004498		
	F. V.	GL	SQ	SQ	F	Pr(>F)
NDVI	Nível de Severidade	3	0,0155	0,005166	1,857	0,143
	Resíduo	90	0,2504	0,002782		
	F. V.	GL	SQ	SQ	F	Pr(>F)
NDVI_{rededge}	Nível de Severidade	3	0,000515	0,0001718	1,663	0,181
	Resíduo	90	0,009297	0,0001033		
	F. V.	GL	SQ	SQ	F	Pr(>F)
RVI	Nível de Severidade	3	0,0232	0,007740	1,898	0,136
	Resíduo	90	0,3670	0,004077		
	F. V.	GL	SQ	SQ	F	Pr(>F)
SAVI_{0,5}	Nível de Severidade	3	0,01545	0,005150	1,859	0,142
	Resíduo	90	0,24939	0,002771		
	F. V.	GL	SQ	SQ	F	Pr(>F)
SAVI₁	Nível de Severidade	3	0,0154	0,005134	1,86	0,142
	Resíduo	90	0,2485	0,002761		
	F. V.	GL	SQ	QM	F	Pr(>F)
VIOPT2	Nível de Severidade	3	0,00179	0,0005952	1,573	0,201
	Resíduo	90	0,03405	0,0003784		

Legenda: F.V = Fonte de variação; GL= grau de liberdade; SQ= soma dos quadrados; QM= Quadrado médio; F= razão entre o modelo e o seu erro; Pr= probabilidade; *= existe diferença significativa.

Esses resultados demonstram que todos os valores de Pr (>F) foram maiores que o nível de significância 0,05, aceitando-se a hipótese H₀. Logo, as médias dos

índices de vegetação podem ser consideradas iguais, não se justificando o uso do Teste T para comparação de médias.

Com base nos dados obtidos na análise de variância, procedeu-se com o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis com os índices SR e PSRI que não apresentaram normalidade, haja visto, que para se aplicar um teste paramétrico um dos requisitos é de que os dados devem apresentar distribuição normal. A Tabela 10 apresenta os resultados do teste.

Tabela 10 - Resultado do teste estatístico de Kruskal-Wallis

Índices	Qui- quadrado	GL	P-valor
PSRI	11,599	3	0,00889*
SR	6,8537	3	0,07671

*Diferença significativa ao nível de 0,05%.

Com base no resultado do teste de Kruskal Wallis foi realizado o teste de Wilcoxon para o índice PSRI o qual apresentou diferença significativa. O uso desse teste é importante quando os dados apresentam a falta de normalidade e as amostras são pequenas, sendo relativamente isento de premissas, pode substituir o testes T sempre que as populações não puderem ser presumidas como normalmente distribuídas e com iguais variâncias (WITTE; WITTE, 2005).

Para isso o índice foi analisado segundo os níveis de severidade, sendo consideradas como grupos na análise estatística, com o objetivo de verificar se esse a média do índice PSRI possui diferença estatística significativa para os níveis de severidade identificados em campo. A Tabela 11 traz o resultado do teste.

Pela análise da aplicação do teste de Wilcoxon (Tabela 11) os resultados mostram a rejeição da hipótese nula de igualdade (p -valor < 0,05), e verifica-se que os valores médios de PSRI diferem significativamente entre os grupos 1 x 3 e grupos 2 x 3. Esse resultado indica que este índice é útil para diferenciar as árvores infectadas com a bactéria *Erwinia psidii* nos diferentes níveis de severidade estabelecidos neste talhão.

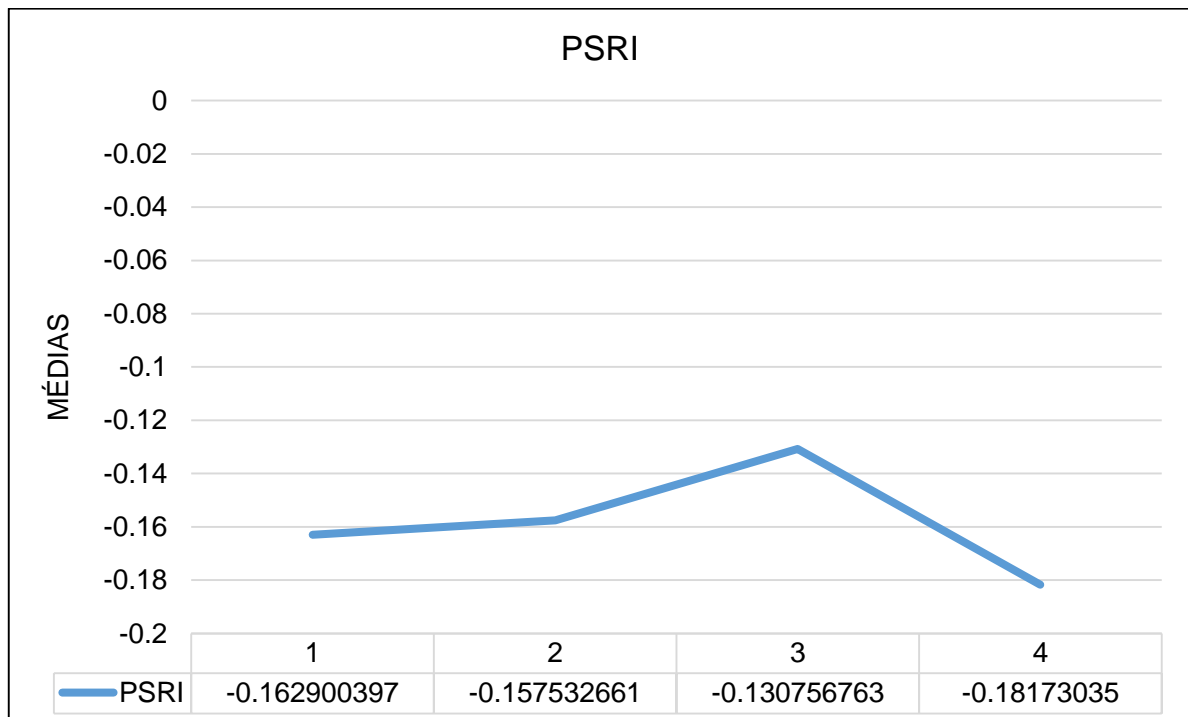
Tabela 11 - Resultado do teste de Wilcoxon do índice PSRI, para os grupos de severidade.

Grupos comparados	Teste de Wilcoxon (W)	p-value
Severidade 1 X Severidade 2	569	0,3031
Severidade 1 X Severidade 3	168	0,00168*
Severidade 1 x Severidade 4	26	0,5143
Severidade 2 X Severidade 3	229	0,009332*
Severidade 2 X Severidade 4	29	0,55
Severidade 3 X Severidade 4	19	0,1905

*Diferença significativa ao nível de 0,05%

As médias do índice PSRI para cada nível de severidade foram plotadas em um gráfico (Figura 16), onde pode-se analisar o comportamento do índice em cada nível.

Figura 16 - Médias do índice PSRI em cada nível de severidade.



Fonte: Autora.

Observa-se que do nível 1 ao nível 3 ocorre um aumento gradativo da média do índice PSRI e em seguida esta média decresce para -0,181 no nível 4. Segundo

(REN; CHEN; AN, 2016), o valor de PSRI aumenta durante a senescência foliar devido ao aumento na proporção de carotenóides para clorofilas, isso é observado neste estudo com o aumento do nível da severidade.

O índice PSRI foi baseado em três comprimentos de onda central, verde (550 nm), vermelho (660 nm) e *redege* (735 nm) de acordo com o intervalo de banda do sensor utilizado neste estudo. O comprimento de onda de 660 nm é associado a absorção de clorofila a, enquanto o comprimento de onda 550 nm está relacionado à absorção de carotenóides (GITELSON et al., 2005), e o comprimento 735 nm (banda do *redege*), é influenciada pelo teor de clorofila e propriedades de dispersão, que afetam o espectro em comprimentos de onda mais longos. Esses efeitos de dispersão estão ligados à biomassa total (FILELLA e PEÑUELAS, 1994).

PSRI é sensível à retenção ou acúmulo de carotenóides nas folhas senescentes e nos frutos de maturação (MERZLYAK et al., 1999), sendo assim pode-se concluir que este é o principal fato que torna este índice capaz de diferenciar os níveis de severidade da doença. Uma vez que, devido à importância dos pigmentos para a função foliar, variações no teor de pigmento podem fornecer informações sobre o estado fisiológico das folhas. A clorofila tende a declinar mais rapidamente do que os carotenóides quando as plantas estão sob estresse ou durante a senescência foliar (SIMS e GAMON, 2002).

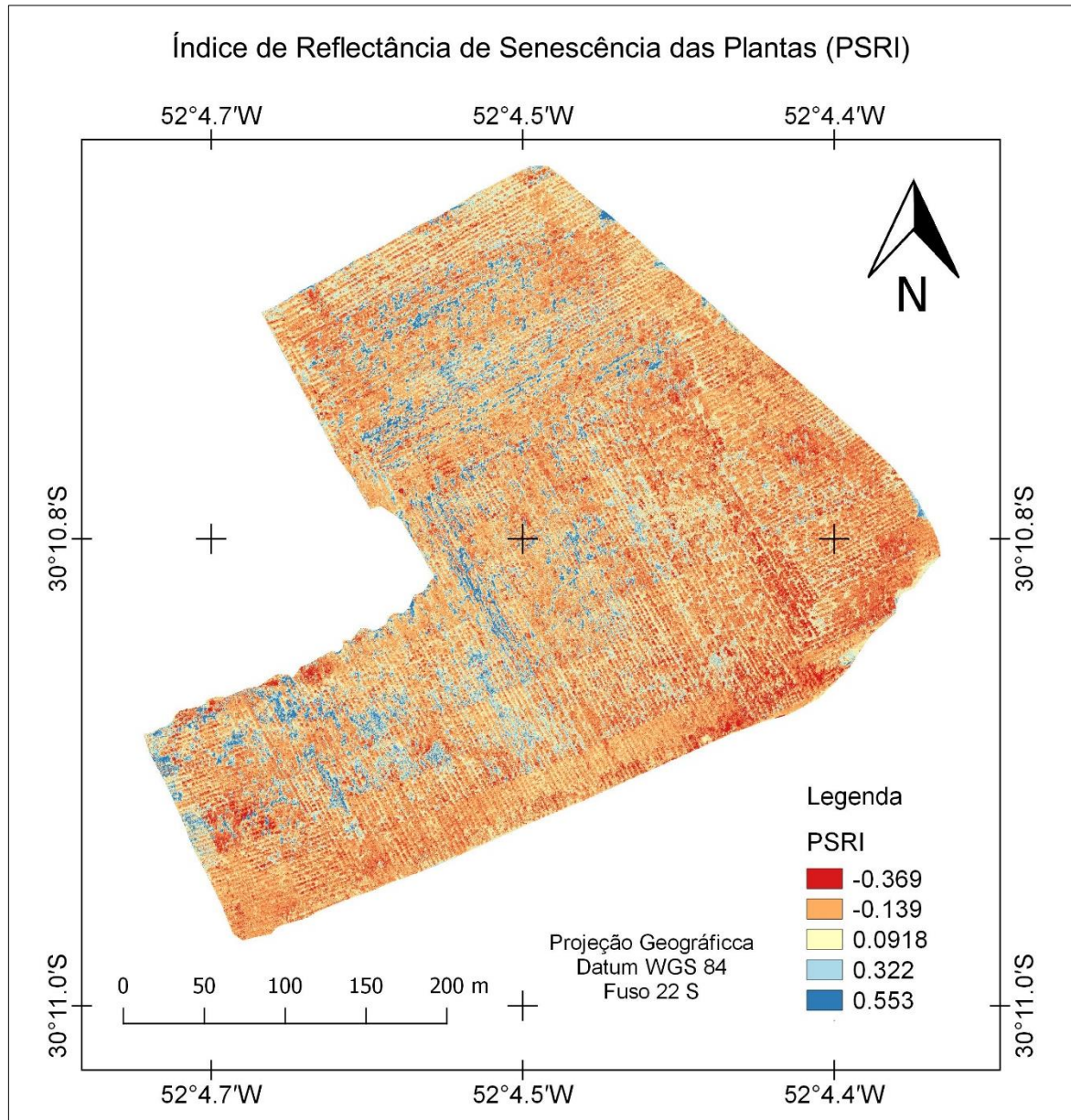
O PSRI foi proposto para a predição do teor de pigmentos foliares que são relativamente insensíveis às espécies e à variação da estrutura foliar e, portanto, poderiam ser aplicados em estudos de sensoriamento remoto de escala maior sem calibração extensiva (SIMS e GAMON, 2002). Nesse sentido, o índice foi aplicado e calculado para a área total do estudo.

4.5 APLICAÇÃO DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO DE SENESCÊNCIA DAS PLANTAS (PSRI) PARA DETECÇÃO DE OCORRÊNCIA DE *Erwinia psidii* EM PLANTIOS DE *Eucalyptus urograndis*.

Segundo as análises estatísticas realizadas, o índice mais adequado para detecção de ataques de *Erwinia psidii* em plantios de *Eucalyptus urograndis* é o PSRI. Assim, o índice foi calculado para todo talhão e gerou-se uma imagem índice de vegeação (Figura 17), sobre a qual foi aplicado a composição colorida falsa cor,

visando facilitar a diferenciação dos elementos da imagem pelo olho humano (CHAVES et al., 2015).

Figura 17 - Índice de Reflectância de Senescência das Plantas para todo o talhão.



Fonte: Autora.

Na composição falsa cor escolhida, os pixels com valores mais altos adotam a coloração azul e os pixels com valores menores são coloridos com a cor vermelha. Segundo Castro e Sanchez-Azofeifa (2008), o índice PSRI possui um comportamento oposto ao NDVI. Dentro de um ano, o PSRI apresenta uma curva de sino invertida, oposto ao NDVI. Ou seja, os valores de PSRI diminuem com o crescimento da folha

na primavera, atingem o valor do vale no meio do verão e depois aumentam com a senescência foliar no outono.

Com o uso desse índice observou-se que houve realce de algumas feições, como as áreas de solo exposto, as quais ficaram com a coloração azul, realçando as falhas de plantio. O índice realçou também as áreas sadias, apresentando tonalidade vermelho escuro. As áreas infectadas pela bacteriose apresentaram tonalidade vermelho claro com variação ao laranja, o que indica o aumento do PSRI.

A Tabela 12 traz as estatísticas descritivas do índice PSRI para a área do talhão, onde observou-se o valor médio de -0,0437, com variação entre -1,747 e 1,983.

Tabela 12 - Estatísticas descritivas do índice PSRI aplicado ao plantio de *Eucalyptus urograndis* afetado com a bactéria *Erwinia psidii*.

Média	Mediana	Desv. Pad.	Mínimo	Máximo	Amplitude	CV%
-0,0437	-0,09524	0,219764	-1,74713	1,983051	3,730177	-502,869

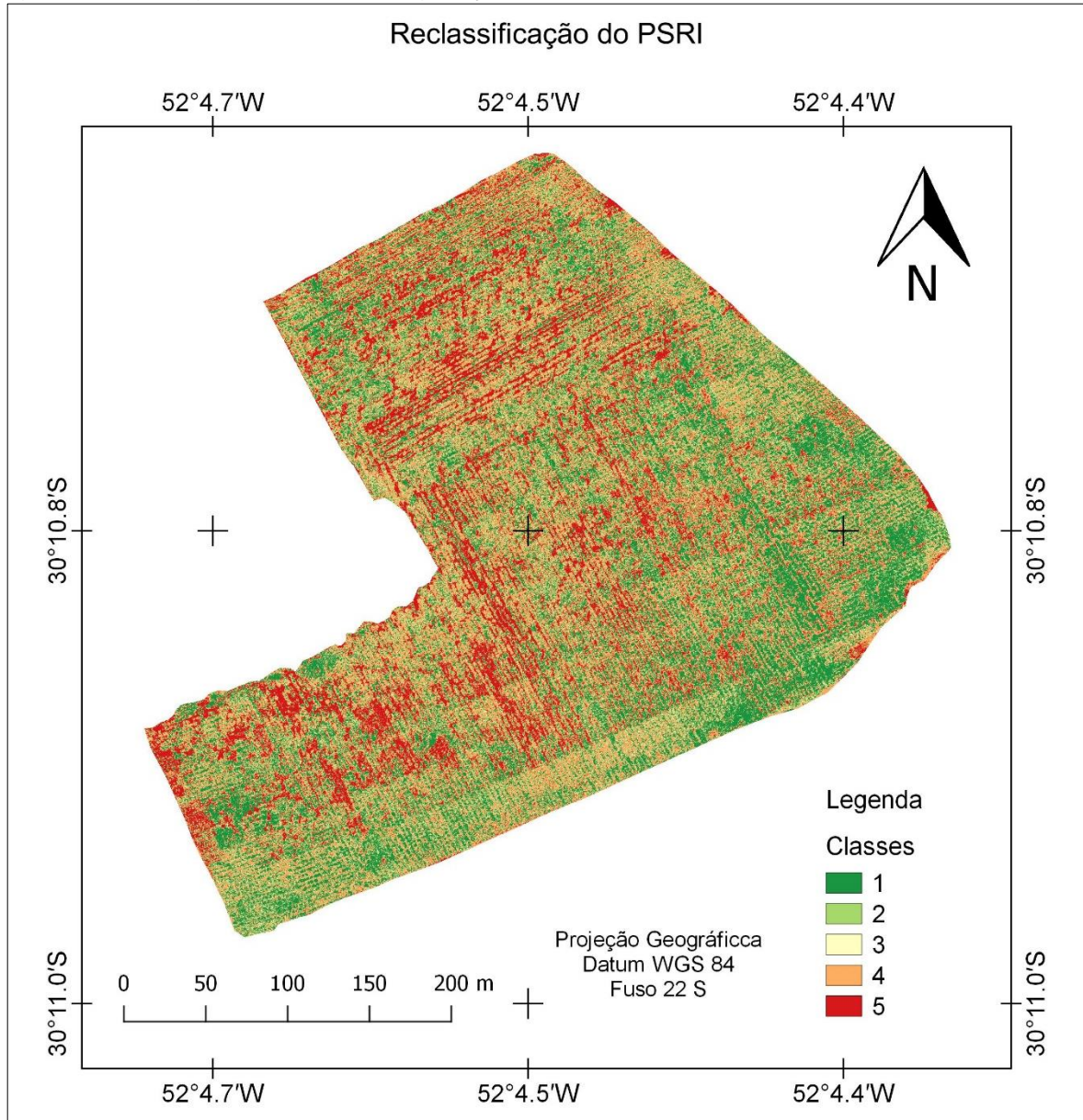
No intuito de avaliar a saúde do talhão foram realizados testes para a reclassificação do índice PSRI, sendo que o teste com 5 classes, foi considerado o ideal para realizar a separabilidade dos níveis de severidade e realizar a quantificação dos pixels, determinando assim a área recoberta com cada classe proposta. A Tabela 13 apresenta os valores dos limites superior e inferior de cada classe, sua quantificação em hectares e sua representação em porcentagem da área total de estudo

Tabela 13 - Classes definidas para reclassificação do índice PSRI, seus respectivos valores e área em hectares.

Classe	Descrição	Limite inferior	Limite superior	Área em há	%
1	Saudável	-1,7472	-0,1673	4,28	30,38
2	Severidade 1 e 2	-0,1673	-0,1398	1,09	7,75
3	Severidade 3	-0,1398	-0,1124	1,05	7,45
4	Severidade 4	-0,1124	0,1349	5,20	36,94
5	Solo	0,1349	1,9831	2,46	17,47
				Total: 14,09	100

A imagem reclassificada é apresentada na Figura 18, observa-se que no mapa são representadas 5 classes, conforme os níveis avaliados em campo.

Figura 18 - Imagem índice de vegetação reclassificada nas 5 classes.



Fonte: Autora.

As classes 1 representa 30,38% da área de estudo, sendo a classe que abrange a vegetação saudável, ou seja, sem a ocorrência da bacteriose, representada no mapa com a cor verde.

A classe 2 representa 7,75% da área de estudo, a representa a vegetação com níveis de severidade 1 e 2. A classe 3 representa 7,45% da área de estudo, a abrange a vegetação com nível de incidência de *Erwinia psidii*.

A classe 4, representa 36,94% da área de estudo e compreende a vegetação com nível 4 de incidência da bactéria. Ou ainda áreas consideradas com baixa cobertura de folhas e início de transição para solo exposto. Essas classes são observadas principalmente nas regiões de bordadura das copas, representadas no mapa com a coloração laranja.

As classes que apresentam algum nível de severidade da doença são 2, 3 e 4, que somadas representam 52,14% ou seja 7,34 hectares da área de estudo.

A classe 5 representa 17,47% da área de estudo, e são consideradas áreas de solo exposto, entrelinhas e falhas de plantio, visualizadas no mapa com a cor vermelha.

Merzlyak et al., (1999) na pesquisa com o índice PSRI em *Coleus blumei*, verificou que quando a relação carotenoides clorofila aumentou, o mesmo ocorreu com o índice. Bem como, durante a senescência das folhas de bordo, tanto a relação carotenoides / clorofila quanto o PSRI sofreram um aumento acentuado.

Os índices de vegetação como o PSRI exploram as características encontradas nos componentes da vegetação durante a senescência, como mudanças na lignina e na celulose. Portanto, o PSRI pode ser usado para descrever quantitativamente a cinética de um processo de amadurecimento. A lignina é usada pelas plantas para fazer componentes estruturais, tais como as hastes lenhosas, a celulose é utilizada para a estrutura do tecido celular. Quando a vegetação sofre ou está prestes a sofrer senescência, a concentração destes materiais pode aumentar, levando a redução do valor do índice (MERZLYAK et al., 1999).

O PSRI é complementar ao NDVI na descrição da fenologia da vegetação e caracterização das propriedades biofísicas da dinâmica da vegetação. O estudo de (REN; CHEN; AN, 2016) fez a primeira tentativa de calcular PSRI usando dados de sensoriamento remoto por satélite e avaliar a confiabilidade do PSRI no monitoramento da fenologia da vegetação no norte da China, concluindo que o PSRI tem sensibilidade semelhante à dinâmica da vegetação com NDVI tanto na primavera como no outono e, portanto, é complementar ao NDVI na descrição da fenologia da vegetação. No entanto neste trabalho o NDVI não teve sensibilidade semelhante ao

PSRI, talvez porque eles foram avaliados isoladamente quanto aos níveis de severidade da doença, não sendo comparados em área total do plantio.

5 CONCLUSÕES

É evidente a ocorrência de doenças em plantios florestais, limitando a produção, reduzindo a qualidade das espécies e gerando grandes perdas econômicas. A hipótese levantada neste trabalho foi que as imagens obtidas com VANT podem ser utilizadas em aplicações que envolvam avaliações fitossanitárias em florestas plantadas, especificamente na avaliação da ocorrência de *Erwinia psidii* em *Eucalyptus urograndis*.

O VANT equipado com o sensor multibandas mostrou-se moderno e eficaz para geração de imagens capazes de evidenciar a presença de estresse em plantios florestais. Do mesmo modo, a avaliação da severidade da doença com as imagens, a partir da relação de índices de vegetação aos níveis de severidade encontrados no campo, mostrou-se eficiente para quantificar a área afetada com algum nível de severidade na área de estudo.

Dentre os índices testados, o Índice de Reflectância de Senescência das Plantas (PSRI) destacou-se na avaliação das copas infectadas, para diferenciar as árvores em nível 1 e 3 de severidade e nível 2 e 4. Este índice apresentou-se é útil para diferenciar as árvores infectadas com a bacteriose, nos diferentes níveis de severidade estabelecidos e nas condições ambientais presentes no momento de aquisição dos dados. Embora não se tenha medido em campo a umidade e temperatura do local, sabe-se que as variáveis climáticas interferem na incidência de doenças.

Aplicado à área total do talhão, o PSRI evidenciou as áreas de solo exposto, bem como as regiões do talhão consideradas saudáveis. No entanto, a área mais representativa, 42,27% do plantio, apresenta problemas relacionados à ocorrência da bactéria *Erwinia psidii*. Apesar da alta resolução da imagem e de estatisticamente o índice ser útil para a distinção entre os níveis de severidade, na imagem reclassificada não foi possível identificar as copas nos níveis 1, 2 3 e 4 para todo o talhão. Esses níveis foram agrupados em duas classes, nas quais o índice variou de -0,31842 a -0,09864.

Esse trabalho caracteriza uma inovação na forma convencional de quantificar e detectar a presença dos sinais de patógenos em área florestal, pois não foram encontradas referências do uso do índice PSRI aplicado às imagens obtidas com VANT em plantios comerciais. No campo da silvicultura moderna, o manejo florestal

racional requer informações florestais detalhadas em formato digital. Nesse sentido a ferramenta utilizada neste estudo e as informações extraídas são úteis, agilizando a tomada de decisões, visando o controle ou eliminação do agente causal e nas decisões de manejo.

O resultado encontrado neste trabalho indica que a grande vantagem o uso de VANTs na silvicultura é o aumento da resolução espacial e temporal, permitindo a análise das copas individualizadas, além de sua facilidade de manuseio e rapidez na aquisição de dados. Estas características irão provavelmente converter o uso de VANTs como uma importante ferramenta para a silvicultura, ainda que sejam necessários mais esforços para tornar essa tecnologia mais acessível e disponível para os usuários, abrangendo diferentes interesses para a avaliação das culturas.

6 RECOMENDAÇÕES FINAIS

A proposta desse estudo foi contribuir com a aplicação de técnicas de sensoriamento remoto e fotogrametria digital para identificação de doenças em florestas plantadas, especificamente *Erwinia psidii* em *Eucalyptus urograndis*. A partir dos resultados obtidos verificou-se que a silvicultura pode usufruir muito dos benefícios oferecidos pelo uso de VANTs no monitoramento florestal.

Como sugestão para trabalhos futuros, recomendada-se o uso de espectrorradiometria de campo, a qual possibilita identificar regiões do espectroeletrromagnético mais sensíveis a essa doença, permitindo estimar a curva espectral de plantas sadia e doentes. A partir disso, propor índices específicos para a detecção de *Erwinia psidii* e aplicá-los às imagens.

Em relação as imagens utilizadas, sugere-se o uso de imagens maior número de bandas espectrais para aumentar a possibilidade de combinação, permitindo propor outros índices de vegetação; a implementação de pontos de controle para aumentar a precisão geométrica, e assim, indentificar com exatidão os indivíduos doentes, e; a configuração de filtros específicos para detecção de doença.

Além disso, recomenda-se testar os mesmos índices de vegetação em diferentes estações do ano, visando avaliar espectralmente a evolução da doença. Outras questões como, aumetar o número de parcelas de monitoramento e posicioná-las em diferentes locais no talhão; realizar medições das variáveis ambientais em campo no momento da coleta dos dados, são pontos relevantes a serem avaliados em trabalhos futuros.

Os índices testados nesta pesquisa para detecção de *Erwinia psidii* foram aplicados em imagens multiespectrais do sensor sequoia, e foram capazes de identificar as áreas mais e menos afetadas pela doença no talhão. Sugere-se, entretanto, testar esses mesmos índices em outros tipos de dados, multiespectrais ou hiperespectrais obtidos com outros tipos de sensores, como já citado anteriormente.

O índice PSRI indicado neste estudo para avaliar o estado fitossanitário do plantio é altamente relacionado com os teores de carotenoide e clorofila. Sendo assim, recomenda-se a análise do teor desses pigmentos, uma vez que concentrações diferentes dos pigmentos nas folhas podem ser utilizados como indicadores do estado nutricional, estresse e ocorrência de patógenos. Outro ponto relevante é a análise da estrutura interna da folha doente e sadia, pois no mesófilo foliar ocorre alta interação

com a energia eletromagnética na região do infravermelho, a alteração dessas estruturas internas são indicativas de uma série de propriedades e processos fisiológicos das plantas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAF. Anuário Estatístico-Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. **Anuário Estatístico**. ABRAF, p. 146, 2013.

ADAMS, M. L.; PHILPOT, W. D.; NORVELL, W. A. Yellowness index: An application of spectral second derivatives to estimate chlorosis of leaves in stressed vegetation. **International Journal of Remote Sensing**, v. 20, n. 18, p. 3663–3675, 1999.

ALFENAS, A. C.; ZAUZA, E. A. V. **Doenças da cultura do eucalipto**. 164 p. Viçosa: SIF, 2007.

ALFENAS, A.C.; ZAUZA, E.A.V.; ROSA, O.P.P; ASSIS, T.F. *Sporothrix eucalypti*, um novo patógeno do eucalipto no Brasil. **Fitopatologia brasileira**, v.26, n.2, p.221, 2001.

ALVARES, C. A. et al. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

APAN, A. et al. Formulation and assessment of narrow-band vegetation indices from EO-1 Hyperion imagery for discriminating sugarcane disease. **Proceedings of the 2003 Spatial Sciences Institute Conference Spatial Knowledge Without Boundaries SSC2003**, p. 1–13, 2003.

ARRIEL, D. A. A. **Seca de ponteiros de Eucalyptus spp. causada por Erwinia psidii no Brasil**. 2012. 40 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG 2012.

ASNER, G. P. Biophysical and biochemical sources of variability in canopy reflectance. **Remote Sensing of Environment**. v. 64, n. 3, p. 234-253, 1998.

ASSIS, T. F. Sintetização de híbridos de Eucalyptus por cruzamentos controlados. **Ciencia Florestal**, v. 3, n. 1, p. 161–170, 1993.

ASSIS, T. F., ABAD, J.I.M., AGUIAR, A.M. Melhoramento genético do Eucalipto. In: SCHUMACHER, M. V., VIEIRA, M. (Org) **Silvicultura do eucalipto no Brasil**. Santa Maria: Ed. Da UFSM, p. 217 - 244. 2015.

AUER, C. G.; SANTOS, Á. F. DOS. Doenças em eucaliptos destinados à produção de energia na região Sul do Brasil. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 31, n. 68, p. 373–379, 2011.

BALUJA, J. et al. Assessment of vineyard water status variability by thermal and multispectral imagery using an unmanned aerial vehicle (UAV). **Irrigation Science**, v. 30, n. 6, p. 511–522, 2012.

BERVEGLIERI, A.; TOMMASELLI, A. M. G. Exterior orientation of hyperspectral frame images collected with UAV for forest applications. **International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences – ISPRS Archives**, v. 40, n. 3W4, p. 45–50, 2016.

BOECHAT, L. T. **Técnicas De Sensoriamento Remoto Na Detecção Do Mofo Branco e da Mancha- Angular Do Feijoeiro**. 2012. 128 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2012.

BOEING, E. L., CATEN, A. ten. VITALIS, F. A. **Aplicação de veículo aéreo não tripulado para o mapeamento**. 2014. 11 p. Disponível em: http://www.cartografia.org.br/cbc/trabalhos/4/183/CT0475_1404148668.pdf/ Acesso em: 29 out. 2015.

BORGUES, K. L. **Dados espectrorradiométricos de campo e Índices de vegetação para estimar porcentagem de cobertura vegetal verde de pastagens cultivadas**. 2015. 92 p. Dissertação (Mestrado em Geociências Aplicadas) Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2015.

BRANDÃO, Z. N.; SOFIATTI, V.; SILVA, B. B. DA. Índices de vegetação obtidos por imagens de satélite como estimadores do IAF e nitrogênio no algodoeiro. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR. **Anais...**Curitiba - PR: 2011

BRANDELERO, C. **Espectrorradiometria do visível e infravermelho próximo em povoamento de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden.** 2010. 90 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2010.

BRAZ, A. M. et al. **Análise da aplicação de VANT na atualização de cadastro florestal com uso de pontos de controle.** Anais do XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. **Anais...**João: INPE, 2015.

BRITO NETO, R. T. DE et al. Determinação de valores físicos de imagens TM/Landsat-5 utilizando a linguagem Legal para obter índices de vegetação. II Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. **Anais...**Recife, PE: 2008

CAMPBELL, C.L., MADDEN, L.V. **Introduction to plant disease epidemiology.** New York: John Wiley & Sons, 1990.

CANDIAGO, S. et al. Evaluating Multispectral Images and Vegetation Indices for Precision Farming Applications from UAV Images. **Remote Sensing**, v. 7, p. 4026–4047, 2015.

CARVALHO, A. M. DE; NAHUZ, M. A. R. Valorização da madeira do híbrido *Eucalyptus grandis* x *urophylla* através da produção conjunta de madeira serrada em pequenas dimensões, celulose e lenha. **Scientia Forestalis/Forest Sciences**, n. 59, p. 61–76, 2001.

CASTRO, K.L, SANCHEZ-AZOFEIFA, G.A. Changes in spectral properties, chlorophyll content and internal mesophyll structure of senescing *Populus balsamifera* and leaves. **Sensors**. v. 8, n.1, p. 51–69, 2008.

CHAVES, A. A. et al. Uso de VANTs e processamento digital de imagens para a quantificação de áreas de solo e de vegetação. XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa-PB, Brasil, INPE. **Anais...**João Pessoa: INPE, 2015

COELHO, M. V. S.; MENDES, A. P. **Seca dos ponteiros da goiabeira causada por *Erwinia psidii*: levantamento e caracterização**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente e Abastecimento. Comunicado Técnico 59. 2002.

COSTA, L. F. F.; ALBA, E.; MELLO, E. P.; SILVA, E. A.; TRAMONTINA, J.; PEREIRA, R. S. Estimativa do volume e densidade de árvores em povoamentos de *Eucalyptus grandis* a partir de dados espectrais. 6ª edição. **Anais...** 6º simpósio latino americano sobre manejo florestal. Santa Maria, 2015. p 435 – 440.

COUTINHO, T. A. et al. A new shoot and stem disease of eucalyptus species caused by erwinia psidii. **Australasian Plant Pathology**, v. 40, n. 1, p. 55–60, 2011.

DE OLIVEIRA, L. G. L. et al. Estudo da variabilidade de índices de vegetação através de imagens do ETM+/LANDSAT 7. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. **Anais...**Florianópolis, SC: INPE, 2007.

DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO. **Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas e o Acesso ao Espaço Aéreo Brasileiro**, 78 p. 2015.

FERREIRA, F. A. **Patologia Florestal: principais doenças florestais no Brasil**. Viçosa: Sociedade de Investigações Florestas, 570 p. 1989.

FERREIRA, F. A.; MILANI, D. **Diagnose visual e controle das doenças abióticas e bióticas do eucalipto no Brasil**. Mogi Guaçu - SP: International Paper, 2002.

FERREIRA, M. Escolha de Espécies de Eucalipto. Circular Técnica IPEF, v.47, p.1130, 1979. Disponível em : <http://www.ipef.br/identificacao/eucalyptus/#urophylla>
Acesso em: 30 dez. 2016.

FIGUEIRA, N.M. de OLIVEIRA, L.C. Super-resolução: técnicas existentes e possibilidade de emprego às imagens do VANT VT-15. **Revista Militar de Ciência e Tecnologia**. 2º trimestre, 2013. p 3-19.

FILELLA, I.; PEÑUELAS, J. The red edge position and shape as indicators of plant chlorophyll content, biomass and hydric status. **International Journal of Remote Sensing**, v. 15, n. 7, p. 1459–1470, 1994.

FLORENZANO, T.G. **Iniciação em sensoriamento remoto**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 101 p.

GAGO, J. et al. UAVs challenge to assess water stress for sustainable agriculture. **Agricultural Water Management**, v. 153, p. 9–19, 2015.

GALVANIN, E. A. DOS S. et al. Avaliação dos índices de vegetação NDVI, SR E TVI na discriminação de fitofisionomias dos ambientes do pantanal de Cáceres/MT. **Ciência Florestal**, v. 24, n. 3, p. 707–715, 2014.

GALVÃO, L. S.; VITORELLO, Í.; ALMEIDA FILHO, R. Effects of band positioning and bandwidth on NDVI measurements of Tropical Savannas. **Remote Sensing of Environment**, v. 67, n. 2, p. 181–193, 1999.

GARCIA-RUIZ, F. et al. Comparison of two aerial imaging platforms for identification of Huanglongbing-infected citrus trees. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 91, p. 106–115, 2013.

GARLET, J. et al. Leptocybe invasora em Eucalyptus sp. no estado do Rio Grande do Sul, Brasil. **Ciência Rural**, v. 43, n. 12, p. 2175–2177, 2013.

GEODRONES, 2016. **Drones e sensores para mapeamento**. Disponível em: <<http://geodrones.com.br/cameras-e-sensores-drone-vants/>> Acesso em: 16 nov. 2016.

GITELSON, A. A. et al. Remote estimation of canopy chlorophyll content in crops. **Geophysical Research Letters**, v. 32, n. 8, p. 1–4, 2005.

GOERGEN, L. C. DE G. **Uso da reflectância de imagens LANDSAT 5 TM na identificação de plantios de *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus urograndis* e sua correlação com o volume de madeira**. 2014. 100 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2014.

GONÇALVES, R. A. **Índice De Vegetação Por Diferença Normalizada (NDVI) no patossistema *Puccinia triticina* – *Triticum aestivum***. 2015. 48 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2015.

HATFIELD, J. L.; PRUEGER, J. H. Value of using different vegetative indices to quantify agricultural crop characteristics at different growth stages under varying management practices. **Remote Sensing**, v. 2, n. 2, p. 562–578, 2010.

HE, Y. et al. International Journal of Remote Comparison of vegetation phenological metrics extracted from GIMMS NDVIg and MERIS MTCI data sets over China. **International Journal of Remote Sensing**, v. 36, n. 1, p. 300–317, 2015.

HERMENGILDO, P. DA S. **Seca de ponteiros causada por *Erwinia psidii*: diversidade genética do patógeno e resistência em *Eucalyptus spp.*** 2015. 47 p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2015.

HERNÁNDEZ-CLEMENTE, R.; NAVARRO-CERRILLO, R. M.; ZARCO-TEJADA, P. J. Carotenoid content estimation in a heterogeneous conifer forest using narrow-band indices and PROSPECT+DART simulations. **Remote Sensing of Environment**, v. 127, p. 298–315, 2012.

HUNT, E. R. et al. **Remote Sensing of Crop Leaf Area Index Using Unmanned Airborne Vehicles**. Pecora 17 - The future of land imaging. **Anais...**2008. Disponível em: <<http://www.asprs.org/publications/proceedings/pecora17/0018.pdf>>

IBGE. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão Instituto, 271 p. 2012.

IBGE. **Minas do Leão, RS**. 2015. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/temas.php?lang=&codmun=431225&idtema=160&search=rio-grande-do-sul|minas-do-leao|extracao-vegetal-e-silvicultura-2015>> Acesso em: 16 nov. 2016.

INMET. **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa**. 2016. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>> Acesso em: 03 dez. 2016.

JACKSON, R. D.; HUETE, A. R. Interpreting vegetation indices. **Preventive Veterinary Medicine**, v. 11, n. 3–4, p. 185–200, dez. 1991.

JACOBSEN, S.; PEDERSEN, H.; JENSEN, C. R. **Reflectance Measurements, a quick and non-destructive technique for use in agricultural research**. International Conference on Sustainable Agriculture in Tropical and Subtropical Highlands with Special Reference to Latin America (SATHLA). **Anais...**Rio de Janeiro, Brazil: 1998

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. 2ª ed. São José dos Campos, SP: Parêntese, 2009. 672 p.

LIPPERT, D. B. **REsposta espectral de folhas de *Eucalyptus globulus* (Labill.) atacadas por *Mycosphaerella spp.*** 2011. 64 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2011.

LIU, W. T. H. **Aplicações de sensoriamento remoto**. Campo Grande: UNIDERP, 2007.

MARQUES, A. S. A. et al. Seca dos ponteiros da goiabeira causada por *Erwinia psidii*: níveis de incidência e aspectos epidemiológicos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 29, n. 3, p. 488–493, 2007.

MARTINS, F. G. **Desenvolvimento de modelos de ponto crítico para quantificação de danos causados pelo complexo de doenças foliares em soja**. 2007. 106 p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) - Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS, 2007.

MEDEIROS, F.A., ALONÇO, A. dos S., BALESTRA, M. R. G., DIAS, V. de O. JUNIOR, M. L. L. Utilização de um veículo aéreo não-tripulado em atividades de imageamento Georeferenciado. **Rev. Ciência Rural**, v. 38, n8, nov. 2008. p. 2375- 2378.

MERZLYAK, M. N. et al. Non-destructive optical detection of pigment changes during leaf senescence and fruit ripening. **Physiologia Plantarum**, v. 106, n. 1, p. 135–141, 1999.

MICHEZ, A. et al. Classification of riparian forest species and health condition using multi-temporal and hyperspatial imagery from unmanned aerial system. **Environmental monitoring and assessment**, v. 188, n. 3, p. 146, 2016.

MOREIRA, M.A. Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicações. 3. ed. Viçosa: Ed. UFV, 2007. 320 p.

MORIYA, É. A. S. **Identificação de bandas espectrais para detecção de cultura de cana-de-açúcar sadia e doente utilizando câmara hiperespectral embarcada em VANT**. 2015. 147 p. Tese (Doutorado em Ciências Cartográficas) – Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho”, Presidente Prudente, SP, 2015.

MOURA, V. P. G. O germoplasma de *Eucalyptus urophylla* s. T. Blake no Brasil Vicente. **Comunicado técnico**, p. 12, 2004.

NAUE, C. R. et al. Sensoriamento remoto como ferramenta aos estudos de doenças de plantas agrícolas: uma revisão. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 3, p. 190–195, 2010.

NOVO, E. M. L. DE M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. 4 ed. São Paulo - SP: Blucher, 2010.

NUTTER, F.W., TENG, P.S., SHOKES, F.M. Disease assesment terms and concepts. **Plant Disease**, v. 75, p. 1187-8, 1991.

OLIVEIRA, L. T. DE. **Aplicação do LiDAR no inventário de florestas plantadas**. 2011. 109 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2011.

OUMAR, Z.; MUTANGA, O.; ISMAIL, R. Predicting thaumastocoris peregrinus damage using narrow band normalized indices and hyperspectral indices using field spectra resampled to the hyperion sensor. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 21, n. 1, p. 113–121, 2012.

PEGORARO, A. J., GUBIANI, J. S., PHILIPS, J. Veículo Aéreo não Tripulado: Uma Ferramenta de Auxílio na Gestão Pública. **Anais... Simpósio Argentino de Informatica y Derecho**. 2013. p 176 – 187.

PEREIRA, M. R. R. et al. Comportamento fisiológico e morfológico de clones de *Eucalyptus urograndis* submetidos a diferentes níveis de água no solo. **Irriga**, v. 11, n. 4, p. 518–531, 2006.

PONZONI, F. J. Dados TM / LANDSAT na identificação do ataque da vespa-da-madeira em plantios de Pinus sp. VIII Simpósio Brasileiro de Senroriamento Remoto. **Anais...Salvador: INPE**, 1996

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação**. São José dos Campos - SP: Editora Parêntese, 2007.

PONZONI, F. J. et al. Caracterização espectro-temporal de dosséis de *Eucalyptus spp.* mediante dados radiométricos TM/Landsat5. **Cerne**, Lavras, v. 2, n. 2, p. 267-275, jan. 2015. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S01047602015000200267&script=sci_arttext>. Acesso em: 09 jan. 2016.

REN, S.; CHEN, X.; AN, S. Assessing plant senescence reflectance index-retrieved vegetation phenology and its spatiotemporal response to climate change in the Inner Mongolian Grassland. **International Journal of Biometeorology**, p. 1–12, 2016.

ROSENDO, J. D. S. **Índices De Vegetação E Monitoramento Do Uso Do Solo E Cobertura Vegetal Na Bacia Do Rio Araguari - Mg - Utilizando Dados Do Sensor Modis**. 2005. 130 p. Dissertação (mestrado em geografia). Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, MG, 2005.

SÁ, I.; ANTONIO, R.; ALMOROX, J. **Aplicación de sensores remotos en la detección y evaluación de plagas y enfermedades en la vegetación**. Teledetección. Avances y Aplicaciones. **Anais...**Albacete, Espanha: 1999. Disponível em: <<http://www.aet.org.es/congresos/viii/alb16.pdf>>. Acesso em: 09 jan. 2016.

SANTOS, A. F. dos; AUER, C. G.; GRIGOLETI JUNIOR, A. **Doenças do eucalipto no sul do Brasil: identificação e controle**. Colombo: Embrapa Florestas, 2001. 20 p. (Embrapa Florestas. Circular técnica, 45).

SANTOS, A. G.; AUER, C. G.; MOREIRA, L. M. Identificação e caracterização de patógenos foliares em mudas seminais de *Eucalipto benthamii*. **EMBRAPA**. p. 1–2, 1966. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/95068/1/2013-CelsoA-SEMIC-Identificacao.pdf>> Acesso em: 06 jan. 2016.

SCOLFORO, J. R. O mundo do eucalipto: os fatos e mitos de sua cultura. Rio de Janeiro: **Mar de idéias**, 2008. 70 p.

SILVEIRA, R. L. V. A.; HIGASHI, E. N. Aspectos nutricionais envolvidos na ocorrência de doenças com ênfase para o eucalipto. **Circular técnica IPEF**, v. 200, p. 1–13, 2003.

SIMS, D. A.; GAMON, J. A. Relationships between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of species, leaf structures and developmental stages. **Remote Sensing of Environment**, v. 81, n. 2–3, p. 337–354, 2002.

SMIGAJ, M. et al. **Uav-Borne Thermal Imaging for Forest Health Monitoring: Detection of Disease-Induced Canopy Temperature Increase**. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. **Anais...La Grande Motte, France: 2015**. Disponível em: <<http://www.int-archphotogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XL-3-W3/349/2015/>> . Acesso em 17 dez. 2016.

SOARES, P. et al. A utilização de Veículos Aéreos Não Tripulados no inventário florestal – o caso do montado de sobro. VIII Conferencia Nacional de Cartografia e Geodésia. **Anais...**, p. 1–8, 2015.

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

SOUZA, A. A. DE; GALVÃO, L. S.; SANTOS, J. R. DOS. Índices de vegetação derivados do sensor Hyperion/EO-1 para estimativa de parâmetros biofísicos de fitofisionomias de Cerrado. **XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, p. 3095–3102, 2009.

SPIEGEL, M. R. **Estatística**. 3. ed. São Paulo - SP: Person Makron Books, 1993.

STRECK, E.V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R.S.D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P.C.; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E.; PINTO, L.F.S. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: EMATER-RS/UFRGS, 222p., 2008.

TAKAHASHI, S. S. **Ferrugem do eucalipto: índice de infecção, análise temporal e estimativas de danos relacionadas à intensidade da doença no campo**. 2002. 113 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Botucatu, SP, 2002.

TANG, L.; SHAO, G. Drone remote sensing for forestry research and practices. **Journal of Forestry Research**, v. 26, n. 4, p. 791–797, 2015.

VEGA, F. A. et al. Multi-temporal imaging using an unmanned aerial vehicle for monitoring a sunflower crop. **Biosystems Engineering**, v. 132, p. 19–27, 2015.

VETTORAZZI, C. A.; FERRAZ, S. F. D. B. Silvicultura de precisão: uma nova perspectiva para o gerenciamento de atividades florestais. **Agricultura de precisão**, p. 65–75, 2000.

VIÑA, A. et al. Comparison of different vegetation indices for the remote assessment of green leaf area index of crops. **Remote Sensing of Environment**, v. 115, n. 12, p. 3468–3478, 2011.

WEIER, J., HERRING, D. **Measuring Vegetation (NDVI and EVI)**. 2000. Disponível em: <<http://earthobservatory.nasa.gov/Features/MeasuringVegetation/>>. Acesso em: 01 jan. 2016.

WITTE, R. S.; WITTE, J. S. **Estatística**. 7. ed. Rio de Janeiro - RJ: LTC Livros técnicos e científicos S.A, 2005.

ZHANG, J. et al. Using in-situ hyperspectral data for detecting and discriminating yellow rust disease from nutrient stresses. **Field Crops Research**, v. 134, p. 165–174, 2012.

ZHOU, X. et al. Assessment of leaf carotenoids content with a new carotenoid index: Development and validation on experimental and model data. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 57, p. 24–35, 2017.

APÊNDICE A - PROTOCOLO UTILIZADO NO RGUI PARA AS ANÁLISES ESTATÍSTICAS

```
anova <-read.table(file.choose(),header = T)
head(anova)
```

#TESTE DE NORMALIDADE

```
shapiro.test(anova$CLGRE)
shapiro.test(anova$REDEDGE)
shapiro.test(anova$GNDVI)
shapiro.test(anova$MTCI)
shapiro.test(anova$NDVI)
shapiro.test(anova$PSRI)
shapiro.test(anova$RVI)
shapiro.test(anova$SAVI05)
shapiro.test(anova$SAVI1)
shapiro.test(anova$SR)
shapiro.test(anova$VIOPT)
shapiro.test(anova$NDVrrdE)
```

#TESTE DE HOMOGENEIDADE DE VARIANCIA

```
library(car)
leveneTest(CLGRE~as.factor(sever), data=anova)
leveneTest(REDEDGE~as.factor(sever), data=anova)
leveneTest(GNDVI~as.factor(sever) , data=anova)
leveneTest(MTCI~as.factor(sever) , data=anova)
leveneTest(NDVI~as.factor(sever), data=anova)
leveneTest(RVI~as.factor(sever), data=anova)
leveneTest(SAVI05~as.factor(sever) , data=anova)
leveneTest(SAVI1~as.factor(sever) , data=anova)
leveneTest(VIOPT~as.factor(sever) , data=anova)
leveneTest(NDVrrdE~as.factor(sever) , data=anova)
```

#ANOVA COM OS DADOS NORMAIS

```
T1<-aov(CLGRE~as.factor(sever), data=anova)
T2<-aov(REDEDGE~as.factor(sever), data=anova)
T3<-aov(GNDVI~as.factor(sever) , data=anova)
T4<-aov(MTCI~as.factor(sever) , data=anova)
T5<-aov(NDVI~as.factor(sever), data=anova)
T6<-aov(RVI~as.factor(sever), data=anova)
```

```
T7<-aov(SAVI05~as.factor(sever) , data=anova)
T8<-aov(SAVI11~as.factor(sever) , data=anova)
T9<-aov(VIOPT~as.factor(sever) , data=anova)
T10<-aov(NDVrrdE~as.factor(sever) , data=anova)
```

#PARA VER A TABELA DA ANOVA

```
summary (T1)
summary (T2)
summary (T3)
summary (T4)
summary (T5)
summary (T6)
summary (T7)
summary (T8)
summary (T9)
summary (T10)
```

#TESTE NÃO PARAMÉTRICO, KRUSKAL WALLIS

```
kruskal.test(PSRI~as.factor(sever), data=anova)
kruskal.test(SR~as.factor(sever), data=anova)
```

#ESSA DIVISÃO FOI FEITA PARA VER SE OS GRUPOS DE SEVERIDADE DIFEREM ENTRE SI

```
grupo1<-anova [which (anova$sever==1),]
grupo2<-anova [which (anova$sever==2),]
grupo3<-anova [which (anova$sever==3),]
grupo4<-anova [which (anova$sever==4),]
```

#TESTE NÃO PARAMÉTRICO WILCOXON PARA VER A DIFERENÇA ENTRE OS GRUPOS

```
wilcox.test (grupo1$PSRI,grupo2$PSRI)
wilcox.test (grupo1$PSRI,grupo3$PSRI)
wilcox.test (grupo1$PSRI,grupo4$PSRI)
wilcox.test (grupo2$PSRI,grupo3$PSRI)
wilcox.test (grupo2$PSRI,grupo4$PSRI)
wilcox.test (grupo3$PSRI,grupo4$PSRI)
```

APÊNDICE B – QUADRO COM OS DADOS DE CAMPO

Linha	Nº Arv.	Nível Severidade
1	1	2
1	2	1
1	3	2
1	4	3
1	5	2
1	6	2
1	7	2
1	8	3
1	9	2
1	10	3
2	1	2
2	2	1
2	3	1
2	4	1
2	5	1
2	6	1
2	7	2
2	8	2
2	9	3
2	10	2
3	1	1
3	2	1
3	3	1
3	4	3
3	5	2
3	6	2
3	7	2
3	8	3
3	9	2

Linha	Nº Arv.	Nível Severidade
6	1	2
6	2	2
6	3	6
6	4	3
6	5	3
6	6	3
6	7	1
6	8	1
6	9	2
6	10	2
7	1	1
7	2	1
7	3	1
7	4	1
7	5	1
7	6	2
7	7	2
7	8	1
7	9	2
7	10	2
8	1	2
8	2	2
8	3	6
8	4	2
8	5	2
8	6	1
8	7	1
8	8	2
8	9	1

3	10	1
4	1	3
4	2	1
4	3	1
4	4	1
4	5	1
4	6	4
4	7	2
4	8	2
4	9	1
4	10	2
5	1	1
5	2	3
5	3	2
5	4	6
5	5	3
5	6	3
5	7	1
5	8	6
5	9	3
5	10	2

8	10	6
9	1	1
9	2	1
9	3	1
9	4	1
9	5	3
9	6	2
9	7	2
9	8	2
9	9	3
9	10	1
10	1	2
10	2	2
10	3	1
10	4	3
10	5	2
10	6	2
10	7	3
10	8	2
10	9	3
10	10	3