

# UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

# ANNY FRANCIELLY ATAIDE GONÇALVES

ESTIMAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS DENDROMÉTRICAS PARA FLORESTA ESTACIONAL SEMIDECIDUAL SUBMONTANA COM O USO DE DADOS *OLI* E *SRTM* 

## ANNY FRANCIELLY ATAIDE GONÇALVES

# ESTIMAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS DENDROMÉTRICAS PARA FLORESTA ESTACIONAL SEMIDECIDUAL SUBMONTANA COM O USO DE DADOS *OLI* E SRTM

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais.

Orientador: Prof. Dr. Gilson Fernandes da

Silva

Coorientador: Prof. Dr. André Quintão de

Almeida

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP) (Biblioteca Setorial Sul, Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil) Bibliotecária: Lizzie de Almeida Chaves – CRB-6 ES-000871/O

Gonçalves, Anny Francielly Ataide, 1992-

G635e

Estimativa de características dendrométricas para Floresta Estacional Semidecidual Submontana com o uso de dados OLI e SRTM / Anny Francielly Ataide Gonçalves. – 2018.

96 f.: il.

Orientador: Gilson Fernandes da Silva.

Coorientador: André Quintão de Almeida.

Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias.

1. Sensoriamento remoto. 2. Florestas. 3. Florestas - Medição. I. Silva, Gilson Fernandes da. II. Almeida, André Quintão de. III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias e Engenharias. IV. Título.

CDU: 630

# ESTIMAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS DENDROMÉTRICAS PARA FLORESTA ESTACIONAL SEMIDECIDUAL SUBMONTANA COM O USO DE DADOS OLI E SRTM

# Anny Francielly Ataide Gonçalves

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais.

Aprovada em 20 de fevereiro de 2018.

Dr. Daniel Henrique Breda Binoti (Examinador externo) Universidade Federal do Espírito Santo

Prof. Dr. Adriano Ribeiro de Mendonça (Examinador interno)
Universidade Federal do Espírito Santo

Prof. Dr. Andre Quintão de Almeida (Coorientador)
Universidade Federal de Sergipe

Prof. Dr. Gilson Fernandes da Silva (Orientador)
Universidade Federal do Espírito Santo

À DEUS, por ter me dado força e proteção nessa jornada. Aos meus pais, pelo incentivo aos estudos e por acreditarem em mim. À toda a minha família. Eu amo vocês. Dedico

#### **AGRADECIMENTOS**

À DEUS, que tudo sabe e que tudo vê. Àquele que nos dá a cruz que conseguimos carregar. O senhor que é misericordioso, quem traça os nossos caminhos, e que muitas vezes na hora não entendemos os porquês de certas coisas e situações, mas, que depois tudo faz sentindo. Obrigada, Senhor, por toda paciência, amor, proteção, força, ânimo, saúde física e mental durante o desenvolvimento desse trabalho e por sempre colocar pessoas boas na minha vida.

Aos meus pais, José Volmer e Helia Rejane, minhas irmãs, Karoline e Janayna, meus sobrinhos, Gabriel, Gustavo e Enzo, e cunhado Rodrigo, por sempre torcerem e acreditarem em mim, pelos conselhos, por serem fontes de amor, pela minha essência, pela educação e pela compreensão de estar muitas vezes ausente em suas vidas. Amo vocês.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) e ao Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, pela oportunidade de estudo.

Ao meu orientador, Gilson Fernandes da Silva, pelos ensinamentos, dedicação e contribuições para a realização dessa etapa.

Ao meu coorientador, André Quintão de Almeida, pelo apoio, pela simplicidade, disponibilidade em tirar as minhas dúvidas, mesmo com a distância, e por aceitar fazer parte desse trabalho.

Aos membros da banca examinadora, pelas contribuições e sugestões de melhorias desse trabalho.

À todos os professores que contribuíram na minha formação.

Aos proprietários da Reserva Cafundó, em especial à Nenete e seu esposo o Sr. José Antônio por todo apoio e colaboração.

À prefeitura Municipal de Jerônimo Monteiro por fornecer o transporte até a RPPN Cafundó, em especial, ao senhor Miguel e André que gentilmente nos levava e buscava durante as coletas na floresta.

À minha coorientadora de "coração", Márcia Fernandes, por ter me ajudado no desenvolvimento desse trabalho, durante todas as etapas e por sua amizade.

À minha amiga Isáira Lopes, pela amizade, força, companheirismo, por me aturar nos momentos de estresse e apoio durante esses dois anos.

Aos amigos Jeferson Pereira, Jeangelis Santos, Evandro Ferreira e Giovanni Vieira pela amizade, convívio diário, pelas brincadeiras, por tirarem inúmeras dúvidas, pelas ajudas, conselhos, sugestões, brincadeiras, gosto muito de vocês seus "atoas".

À todos os amigos que disponibilizaram em ir ao Cafundó, mesmo com tantos afazeres e ocupações, Lucas, Isa, Marcinha, Miltinho, Evandro, Ranieri, Jeffy, Carol, Mari, Mariana, Willian, Letícia, Quétila, Sandro, Emanuelzito, Denize, Francisco, Mileidy, Cathê, Sandrinha, Jamily, Jose Renato, Bianca, Sofia e Naslla, pois, sem a ajuda de vocês não teria conseguido realizar a coleta dos dados em campo, e portanto, o desenvolvimento desse trabalho não seria possível.

As amigas da república Vegas, Ana Paula, Isa, Naruna e Sofia pela amizade, conversas, almoços, e convivência nesses últimos anos, adoro tus.

À toda família Lamflor, em especial a Luandson Souza, Daniel Binoti, Lívia Figueiredo, Catherine Claros, Sandra Pires, Eth Rocha, Taíse Aozani, Leonardo Biali, Letícia Paschoa, Mariana Aragão, Vanessa Valentino, Sandro Barros, Quétila Souza, Janiel Cerqueira, Marcelo Otone e Rodrigo Freitas. Obrigada pelas conversas, brincadeiras e amizade.

Aos amigos que conheci durante o mestrado, Fran, Fábio, Milton, André, Kaíse, Sueliane, Genilda, Fabrina e Thuany pela boa convivência, e em especial Elayne e Emanuelzito, vocês são meus parceiros, amigos de todas as horas e ocasiões.

Aos amigos de "Jerôminho", Keninha, Lucas Sedentário, Allan (*In memoriam*), Lúbia, Denise, Marcelão e tia Dalza, Sr. João e família, Dona Neri e família, Sebastiãozão, Berdan e Chiclete pelos momentos de alegria, comilanças e amizade.

À coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro que foi imprescindível para a minha permanência durante o desenvolvimento do mestrado.

À todos os amigos e familiares que mesmo distantes estiveram torcendo por mim e pela conclusão desse trabalho.

#### **RESUMO**

GONÇALVES, Anny Francielly Ataide. **Estimativa de características dendrométricas para Floresta Estacional Semidecidual Submontana com o uso de dados OLI e SRTM.** 2018. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. Orientador: Gilson Fernandes da Silva. Coorientador: André Quintão de Almeida.

A política florestal do Brasil prevê que todos os estados da federação deverão atualizar o inventário florestal. Atrelado a isso, faz-se necessário a utilização de técnicas, como o sensoriamento remoto, que possibilitam obter informações precisas e a redução de custos no desenvolvimento dessa atividade. Objetivou-se, nesse estudo, avaliar o uso de informações espectrais do sensor OLI Landsat 8 e dados SRTM em equações para estimação das variáveis área basal e volume de madeira para um fragmento de Floresta Estacional Semidecidual Submontana pertencente à Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) Cafundó, localizada no munícipio de Cachoeiro do Itapemirim, ES. Foi realizado o inventário florestal em 25 parcelas de 1.000m² (20 m x 50 m) e obtido as estimativas de área basal e volume de madeira com casca por meio de equações alométricas. Posteriormente, estas estimativas foram relacionadas com as variáveis provenientes do sensoriamento remoto, por meio da análise de regressão. Na análise da regressão, as variáveis dependentes foram a área basal e volume de madeira com casca, e as variáveis explicativas foram as bandas espectrais do sensor OLI, a razão entre bandas, índices de vegetação e características do relevo extraídas do SRTM, testadas para diferentes janelas espectrais. A técnica de seleção de variáveis explicativas utilizada foi a de busca exaustiva e a avaliação estatística da regressão fez uso do  $\overline{R}^2$ , RMSE (%), a dispersão dos resíduos e o emprego da técnica de validação cruzada Leave-one-out ( $\bar{R}_{CV}^2$  e RMSE<sub>cv</sub>). Para as variáveis estudadas, observou-se que a janela espectral 3 x 3 pixels foi a mais relacionada com os dados de área basal e volume de madeira, e que as variáveis do relevo extraídas do SRTM apresentaram bom desempenho quando combinadas com as variáveis espectrais do sensor OLI. Para a área basal, a equação que melhor ajustou aos dados apresentou  $\bar{R}^2$  de 0,6554,  $\bar{R}_{\text{CV}}^2$  de 0,6244, RMSE (%) de 14,53% e RMSE<sub>cv</sub> (%) de 18,15%. Já em relação ao volume de madeira, a equação apresentou  $\bar{R}^2$  de 0,6039,  $\bar{R}_{CV}^2$  de 0,5380, RMSE (%) de 23,03% e RMSE<sub>cv</sub> (%) 30,30%. A estimativa da área basal e volume de madeira para o fragmento de Floresta Estacional Semidecidual Submontana mediante o uso de dados espectrais apresentou resultados satisfatórios, ressaltando-se a importância da topografia na predição dessas variáveis na área estudada.

**Palavras-chave:** Inventário Florestal, Sensoriamento Remoto, Área Basal, Volume de madeira.

#### **ABSTRACT**

GONÇALVES, Anny Francielly Ataide. Estimation of dendrometric characteristics for Submontane Semidecidual Seasonal Forest using *OLI* and *SRTM* data. 2018. Dissertation (Master Degree in Forest Science) – Federal University of Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. Adviser: Gilson Fernandes da Silva. Co-adviser: André Quintão de Almeida.

Brazil's forestry policy predict that all states of the federation should update the forest inventory. Linked to this, it is necessary to use techniques, such as remote sensing, that make it possible to obtain accurate information and reduce costs in the development of this activity. The objective of this study was to evaluate the use of Landsat 8 OLI sensor data and SRTM data in equations for estimation of variables basal area and volume of wood for a fragment of Submontane Semidecidual Seasonal Forest belonging to the Private Reserve of the Natural Heritage (RPPN) Cafundó, located in the municipality of Cachoeiro do Itapemirim, ES. The forest inventory was realized out in 25 plots of 1,000 m<sup>2</sup> (20 m x 50 m) and the estimates of basal area and volume of wood with bark were obtained by means of allometric equations. Subsequently, these estimates were related to the variables derived from the remote sensing, through the regression analysis. In the regression analysis, the dependent variables were the basal area and volume of bark wood, and the independent variables were the *OLI* sensor spectral bands, the ratio between bands, vegetation indices and relief characteristics extracted from the SRTM, tested for different spectral windows. The technique of selection of explanatory variables used was the exhaustive search and the statistical evaluation of the regression made use of the  $\bar{R}^2$ , RMSE (%), residue dispersion and Leave-one-out ( $\bar{R}_{\rm CV}^2$  and RMSEcv) cross-validation. For the studied variables, it was observed that the 3 x 3 pixel spectral window was the most related to the data of basal area and volume of wood, and relief variables extracted from the SRTM presented good performance when combined with the spectral variables of the sensor OLI. For the basal area, the equation that best fit the data presented  $\bar{R}^2$  of 0,6554,  $\bar{R}_{CV}^2$  of 0,6244, RMSE (%) of 14,53% and RMSE<sub>cv</sub> (%) of 18,15%. In relation to volume, the equation presented  $\bar{R}^2$  of 0,6039,  $\bar{R}_{CV}^2$  of 0,5380, RMSE (%) of 23,03% and RMSE<sub>cv</sub> (%) of 30,30%. The estimation of the basal area and volume of wood for the Submontane Semidecidual Seasonal Forest fragment using spectral data presented satisfactory results,

emphasizing the importance of topography in the prediction of these variables in the studied area.

**Keywords:** Forest Inventory, Remote Sensing, Basal Area, Volume of wood.

# **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Espécies selecionadas para cubagem e o índice de valor de importânc	ia
relativo (IVI%) para cada uma das espécies cubadas	36
Tabela 2 – Número de árvores que foram cubadas por espécie e classe de <i>DAP</i> 3	36
Tabela 3 – Bandas espectrais utilizadas do sensor OLI e os seus respectivo	os
comprimentos de ondas	39
Tabela 4 – Equações de volume ajustadas e estatísticas utilizadas para avaliar	0
desempenho do modelo de Schumacher-Hall na estimação do volume de madei	ra
com casca de árvores da RPPN Cafundó	46
Tabela 5 - Estatísticas descritivas dos dados de inventário florestal realizado r	no
fragmento da RPPN Cafundó estudado	47
Tabela 6 - Equações selecionadas com os dados provenientes da área da parcela	e
janelas espectrais para a estimação da área basal	48
Tabela 7 – Estatísticas de ajuste e validação cruzada referentes as equaçõe	es
ajustadas para a predição da área basal	51
Tabela 8 - Equações selecionadas para a área da parcela e janelas espectrais pa	ra
a estimação do volume de madeira	55
Tabela 9 - Estatísticas de ajuste e validação cruzada referentes as equações para	a
predição do volume de madeira	56
Tabela 10 - Variáveis selecionadas, estatísticas de ajuste e validação cruzad	da
referentes as equações ajustadas para a predição da área basal e volume o	de
madeira com dados provenientes da área da parcela	93
Tabela 11 - Variáveis selecionadas, estatísticas de ajuste e validação cruzad	da
referentes as equações ajustadas para a predição da área basal e volume o	de
madeira com dados provenientes da janela espectral 1 x 1 pixel	94
Tabela 12 - Variáveis selecionadas, estatísticas de ajuste e validação cruzad	da
referentes as equações ajustadas para a predição da área basal e volume o	de
madeira com dados provenientes da janela espectral 2 x 2 pixels	95
Tabela 13 - Variáveis selecionadas, estatísticas de ajuste e validação cruzad	da
referentes as equações ajustadas para a predição da área basal e volume o	de
madeira com dados provenientes da janela espectral 3 x 3 pixels	96

# **LISTA DE FIGURAS**

Figura 1 - Modelo digital de elevação (MDE) do fragmento de Floresta Estacional
Semidecidual Submontana pertencente a RPPN Cafundó, munícipio de Cachoeiro
de Itapemirim, ES
Figura 2 - Método de validação cruzada por unidade ou <i>leave-one-out</i> 44
Figura 3 – Áreas basais estimadas versus áreas basais observadas e a distribuição
dos resíduos percentuais, obtidas por análise de regressão, para dados de ajuste e
validação cruzada53
Figura 4 - Volumes de madeira estimados versus volumes de madeira observados e
a distribuição dos resíduos percentuais, obtidos por análise de regressão, para
dados de ajuste e validação cruzada dos dados59
Figura 5 - Representação das correlações entre área basal e as variáveis do
sensoriamento remoto com dados provenientes da área da parcela77
Figura 6 - Representação das correlações entre volume de madeira e as variáveis
do sensoriamento remoto com dados provenientes da área da parcela79
Figura 7 - Representação das correlações entre área basal e as variáveis do
sensoriamento remoto com dados provenientes da janela espectral 1 x 1 pixel81
Figura 8 - Representação das correlações entre volume de madeira e as variáveis
do sensoriamento remoto com dados provenientes da área da janela espectral 1 x 1 $$
pixel
Figura 9 - Representação das correlações entre área basal e as variáveis do
sensoriamento remoto com dados provenientes da janela espectral 2 x 2 pixels85
Figura 10 - Representação das correlações entre volume de madeira e as variáveis
do sensoriamento remoto com dados provenientes da área da janela espectral 2 x 2 $$
pixels87
Figura 11 - Representação das correlações entre área basal e as variáveis do
sensoriamento remoto com dados provenientes da janela espectral 3 x 3 pixels89
Figura 12 - Representação das correlações entre volume de madeira e as variáveis
do sensoriamento remoto com dados provenientes da área da janela espectral 3 x 3
pixels91

# LISTA DE APÊNDICES

Apên	dice 1	- E	strutura	horizor	ıtal e <sub>l</sub>	parân	netros	fitos	socioló	gicos	para	a á	área de
amos	tragen	n do	fragme	ento de	Flore	esta	Estac	ional	Semio	lecidu	ıal Sı	ıbm	ontana
locali	zado	na	RPPN	Cafur	ndó, r	munic	ípio	de	Cacho	eiro	do	Itap	emirim
ES													70
Apên	dice 2	- Ilu	stração	da cor	relação	o obs	ervad	a ent	re as v	/ariáv	eis de	eper	ndente
(área	basa	l e v	olume o	de mad	deira)	e as	variá	veis	indepe	ndent	es (va	ariáv	veis do
sensoriamento remoto							remoto						
												76	
Apên	dice 3	- E	quações	ajusta	das pa	ara a	estim	ação	da áre	ea ba	sal e	volu	ume de
made	ira do	fragr	nento de	e Flores	sta Esta	acion	al Sen	nidec	idual S	ubmo	ntana	loc	alizado
na	RPP	N	Cafund	ó, n	nunicíp	oio	de	Ca	choeiro	C	lo	Itap	emirim
ES													93

# SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO1	6
2.	OBJETIVOS1	9
2.1	. Objetivo Geral1	9
2.2	2. Objetivo Específico1	9
3.	REVISÃO DE LITERATURA2	:0
3.1	. O bioma Mata Atlântica2	:0
3.2	2. Variáveis dendrométricas2	<u>'</u> 1
3	3.2.1. Área basal2	<u>'</u> 1
3	3.2.2. Volume de madeira2	2
3.3	3. Aplicação do sensoriamento remoto ao inventário florestal2	:3
3.4	A série Landsat2	:5
3.5	5. Índices de vegetação2	. <sub>7</sub>
3.6	S. Dados SRTM	1
4.	MATERIAL E MÉTODOS	3
4.1	. Localização e caracterização da área de estudo3	3
4.2	2. Inventário florestal	5
4.3	3. Obtenção dos dados de sensoriamento remoto	9
4.4	Variáveis explicativas utilizadas	.1
4.5	5. Estimação das variáveis dendrométricas área basal e volume o	le
madeira p	oor análise de regressão4	3
4.6	S. Avaliação do ajuste e validação das equações4	.5
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	-6
5.1	. Inventário florestal realizado na RPPN Cafundó	-6
5.2	2. Estimação da área basal por meio do uso de dados d	
5.3	,	
uauus uu	sensoriamento remoto5	4

6.	CONCLUSÕES	60
REF	ERÊNCIAS	61
APÊ	NDICES	70

# 1. INTRODUÇÃO

As organizações internacionais exigem cada vez mais que os países desenvolvam práticas de inventários florestais nacionais (IFN), objetivando estimar e monitorar as mudanças nos recursos florestais (CONDÉS; MCROBERTS, 2017). O inventário florestal é uma importante ferramenta de disponibilização de informações, servindo como apoio no gerenciamento dos recursos florestais (ZALD et al., 2016) e formulação de políticas públicas.

O programa de inventário florestal brasileiro está previsto para ser realizado em todo território nacional, em conformidade com a Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, que atualizou o Código Florestal Brasileiro (BRASIL, 2012):

Art. 71. A União, em conjunto com os Estados, o Distrito Federal e os Municípios, realizará o Inventário Florestal Nacional, para subsidiar a análise da existência e qualidade das florestas do País, em imóveis privados e terras públicas.

Parágrafo único. A União estabelecerá critérios e mecanismos para uniformizar a coleta, a manutenção e a atualização das informações do Inventário Florestal Nacional.

Cada uma das 27 unidades federativas do país encontra-se em diferentes fases de desenvolvimento do Inventário Florestal Nacional (SFB, 2017). Para o estado do Espírito Santo, especificamente, o inventário florestal ainda não foi atualizado, sendo o último realizado por Amorim (1984).

O estado do Espírito Santo está inserido no bioma Mata Atlântica e é constituído por diferentes tipos de formações florestais (MMA, 2010). Devido a exploração intensiva que desmatou grande parcela do bioma nos últimos séculos (MMA, 2010), em 2006 foi criado um regime jurídico próprio, instituído pela Lei 11.428, denominada Lei da Mata Atlântica (BRASIL, 2006), representando um avanço no processo de proteção das suas áreas remanescentes (MALLMANN; PRADO; PEREIRA FILHO, 2015).

Relacionado a coleta de dados do IFN, temos a existência de restrições como o tempo, capital e a precisão, tornando-se necessária a busca por inovações tecnológicas, como o uso de dados remotos e de técnicas de inferência estatística (MCROBERTS; TOMPPO, 2007), que possibilitem realizar o IFN de maneira eficaz, precisa, econômica e em menor tempo.

O uso de técnicas do sensoriamento remoto fornece dados que possibilitam estimativas das variáveis dendrométricas da floresta, implicando assim na redução das avaliações periódicas e onerosas a campo, além de servir como forma de auxílio dentro do planejamento e distribuição das unidades amostrais (ALBA, 2016).

Dentre as técnicas do sensoriamento remoto empregadas no setor florestal tem-se o sensoriamento remoto ativo. Um exemplo, é o escaneamento a laser aerotransportado (ALS) utilizando um sensor com tecnologia *Light Detection and Ranging* (LiDAR) que fornecem informações na forma de posições x, y e z (ALEXANDER; KORSTJENS; HILL, 2018). Essas informações são chamadas de tridimensionais, da estrutura horizontal e vertical da floresta como a altura, densidade, modelo digital do terreno e modelo digital do dossel (SILVA et al., 2016).

Entretanto, o custo do uso de dados LiDAR para extensas áreas florestais é muito alto e logisticamente restritivo para muitos programas de inventários florestais regionais e nacionais (ZALD et al., 2016), como no caso do Brasil, um país com dimensões continentais. Uma alternativa é o uso de dados provenientes do sensoriamento remoto passivo, que é dependente da radiação eletromagnética emitida pelo sol, fornecendo informações bidimensionais.

Dados provenientes do sensoriamento remoto passivo são fáceis de serem obtidos, abrangem grandes extensões territoriais com intervalo de tempo regular de medida, com ou sem custos associados. A exemplo, a disponibilidade gratuita de dados do Landsat pelo *United States Geological Survey* (USGS) permitindo que esses dados tenham diferentes finalidades em estudos da vegetação (FRAZIER et al., 2014). De acordo com Wulder et al. (2016), os dados do Landsat 8 ficam disponíveis para quaisquer usuários dentro de poucas horas após a sua aquisição. Cabe ressaltar que existe registro de dados do Landsat desde 1972 (PFLUGMACHER; COHEN; KENNEDY, 2012), fato bastante relevante para o uso desses dados em estudos espaço temporais da vegetação.

As pesquisas que fazem uso de dados orbitais, como do sensor *OLI*, em estudos para estimação de variáveis dendrométricas de florestas nativas ou plantadas, em geral, não consideram o fator topográfico da área. Entretanto, sugerese que em locais onde o relevo é acidentado que esse fator seja considerado na modelagem. Uma vez que as diferentes características do relevo são fatores condicionantes para o desenvolvimento da vegetação, seu comportamento produtivo

e criação de ambientes diferenciados, relacionados aos efeitos topográficos da área (BISPO et al. 2009).

Com isso, dados *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM*) e suas derivações em variáveis geomorfométricas são indicados para estudos da vegetação. Os dados *SRTM* são utilizados para a realização do Modelo Digital de Elevação (MDE) da superfície terrestre (BISPO, 2012).

Em conformidade, estudos vêm sendo desenvolvidos com êxito utilizando dados do sensoriamento remoto em conjunto com dados do relevo (BISPO, 2012; BISPO et al., 2016) ou utilizando apenas dados provenientes do sensoriamento remoto (ALMEIDA et al., 2014; CHU; GUO; TAKEDA, 2016; CONDÉS; MCROBERTS, 2017; DJOMO; CHIMI, 2017; MIGUEL et al., 2015; NEIGH et al., 2016; PFLUGMACHER; COHEN; KENNEDY, 2012; POWELL et al., 2010) para estimar variáveis dendrométricas da floresta como a área basal, o diâmetro médio, a altura média, o volume de madeira e a biomassa. Em específico para a vegetação da Mata Atlântica brasileira existem alguns trabalhos que fazem uso de técnicas de sensoriamento remoto passivo, entre eles, os desenvolvidos por Carvalho Júnior et al. (2008); Ferraz (2012); e Mallmann; Prado e Pereira Filho (2015).

No entanto, poucos são os estudos que avaliam o processo de estimação de área basal e volume de madeira do Bioma Mata Atlântica, principalmente em Floresta Estacional Semidecidual Submontana com o uso de dados orbitais, tanto de forma isolada quanto combinada com variáveis do relevo. Sendo assim, o desenvolvimento dessa metodologia pode ser uma alternativa de fonte de dados aos inventários florestais realizados no estado do Espírito Santo.

## 2. OBJETIVOS

## 2.1. Objetivo Geral

Realizar a modelagem da produção de área basal e volume de madeira para uma Floresta Estacional Semidecidual Submontana, com base em dados do sensoriamento remoto.

## 2.2. Objetivo Específico

Construir modelos para estimar área basal e volume de madeira para uma Floresta Estacional Semidecidual Submontana do bioma Mata Atlântica com o uso de variáveis extraídas do sensor *OLI* do satélite Landsat 8 e dados de relevo do *SRTM*, por meio da análise de regressão.

## 3. REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1. O bioma Mata Atlântica

O bioma da Mata Atlântica é bastante diversificado, e apresenta grande importância biológica, entretanto pouco se sabe sobre o seu histórico ambiental (CALEGARI et al., 2017). Há relatos de que no ano de 1500 cobria 15% do território brasileiro. Era constituído por um conjunto de ecossistemas que abrangia faixas litorâneas do Atlântico, com manguezais, restingas, florestas de baixada e de encosta da Serra do Mar, florestas interioranas, matas de araucárias e os campos de altitudes (CAMPANILI; PROCHNOW, 2006).

A Mata Atlântica brasileira é uma formação florestal tropical biologicamente diversificada e ameaçada (JOLY; METZGER; TABARELLI, 2014). É considerada a formação florestal mais rica em diversidade de árvores no mundo (CAMPANILI; PROCHNOW, 2006). A biodiversidade presente nesse bioma representa rico patrimônio genético que ainda não foi totalmente estudado e conhecido, sendo constituída por sistemas biológicos frágeis, espécies endêmicas ou com distribuição restrita (GUEDES et al., 2005).

Dentre os biomas que o Brasil possuí, a Mata Atlântica é um dos que mais sofre efeito da fragmentação florestal (MELO et al., 2015). Originalmente abrangia em forma integral ou parcial 17 estados brasileiros, sendo eles: Alagoas, Bahia, Ceará, Espírito Santo, Goiás, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Paraná, Rio de Janeiro, Rio Grande do Norte, Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Sergipe e São Paulo (CAMPANILI; PROCHNOW, 2006).

Os locais que apresentam as maiores extensões de área conservada desse bioma estão ligados às unidades de conservação de proteção integral, situadas na Mata Atlântica costeira dos estados de Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Rio de Janeiro, Bahia e no Espírito Santo (PINTO et al., 2006).

No entanto, houveram perdas na área da floresta, restando cerca de 11,7% da área original distribuída em cerca de 245.173 fragmentos florestais. O fragmento localizado na Serra do Mar, próximo a região costaneira de São Paulo e região sul

do estado do Rio de Janeiro, representa sozinho cerca de 7% de toda a área remanescente (RIBEIRO et al., 2009).

#### 3.2. Variáveis dendrométricas

#### 3.2.1. Área basal

A área de qualquer seção do tronco das árvores é definida como área seccional ou área transversal. Mas, se a seção considerada na árvore for na altura de 1,30 metros do solo, ou na região do diâmetro a altura do peito (*DAP*), então a área dessa seção é definida como área basal. A área basal pode ser individual ou para todo o povoamento (FINGER, 1992). A área basal do povoamento é uma variável da densidade do povoamento, de suma importância, sendo expressa em m².ha<sup>-1</sup>, o que possibilita o conhecimento do grau de ocupação de determinada área por árvores (SOARES; PAULA NETO; SOUZA, 2011).

É uma variável importante a ser utilizada dentro dos modelos de crescimento e produção, uma vez que o volume de madeira por área é dependente da idade, índice de sítio e, de uma medida de densidade, sendo comum o uso da área basal. Além disso, fornece ideia de estoque da área, que é essencial em estudos do grau de ocupação do sítio (SCOLFORO; THIERSCH, 2004).

O conhecimento dessa variável permite que sejam realizadas avaliações econômicas e potenciais tanto para florestas naturais quanto para plantadas (FINGER, 1992). Por meio da área basal é possível calcular o momento de máximo crescimento da árvore em relação às condições do ambiente (FINGER, 1992; SANQUETTA et al., 2006).

Existem algumas maneiras de estimar a área basal, podendo citar o método de parcelas com área fixa, prova de numeração angular de *Bitterlich*, método da prova horizontal de *Strand* (SCOLFORO; THIERSCH, 2004), ou por meio de imagens orbitais, que buscam relacionar o diâmetro da copa com o *DAP*, ou a

superfície da copa com a área basal (FINGER, 1992; MACHADO; FIGUEIREDO FILHO, 2009).

#### 3.2.2. Volume de madeira

As árvores possuem como componentes principais quatro partes: a raiz, o toco, o fuste e a copa, sendo o fuste a parte de maior importância econômica (FINGER, 1992; MACHADO; FIGUEIREDO FILHO, 2009). Devido à baixa utilização comercial das demais partes das árvores, os estudos das árvores são direcionados em grande parte para o fuste.

Dentro de povoamentos com finalidade comercial, o conhecimento do volume de madeira das árvores é o principal objetivo dos levantamentos florestais. Na prática, a aferição de todas as árvores para o conhecimento do volume de madeira não é algo executável. É comum que se faça a medição de uma amostra dentro do povoamento e que essas características sejam extrapoladas posteriormente para o restante da floresta (MACHADO; FIGUEIREDO FILHO, 2009).

A obtenção do volume de madeira das árvores pode ser realizada por meio de métodos diretos, como a imersão das toras em água, medindo-se o volume de água deslocado, no entanto, essa atividade é demorada e de alto custo (FINGER, 1992). Com o uso de métodos indiretos, como a cubagem, sendo realizadas medições no fuste da árvore em pé ou cortada, dados que serão utilizados posteriormente para o cálculo do volume de madeira (SANQUETTA et al., 2006) e também por meio do uso de dados orbitais.

Os dados orbitais são considerados métodos indiretos e não destrutivos utilizados para a estimação de variáveis dendrométricas, permitindo de maneira eficaz a estimação de variáveis importantes de um povoamento florestal (LEAL, 2013) como o volume de madeira.

Os processos de modelagem dos parâmetros estruturais das florestas por meio do uso dos dados orbitais, baseiam-se na relação entre os valores de reflectância da superfície e as variáveis aferidas em campo, fazendo uso de análises estatísticas, como forma de definir o grau desse relacionamento. Da mesma forma, faz-se uso de modelos lineares e não lineares para definir a relação entre as variáveis, devendo essas responderem ao máximo a variabilidade presente em campo (ALBA, 2016).

A existência de modelos que correlacionam as respostas espectrais com as variáveis dendrométricas objetiva à estimação de variáveis, como volume de madeira, sem que haja a necessidade de coletas de dados constantes em campo (BERRA et al., 2012). Rosenqvist et al. (2003) relatam a importância de utilizar dados do sensoriamento remoto juntamente com as informações coletadas na própria área em estudo. No entanto, a aplicação do sensoriamento remoto não substitui os métodos tradicionais de obtenção de levantamento de informações, em especial, na checagem a campo, sendo ideal o uso em conjunto para o ajuste dos modelos (SOUZA et al., 2007).

#### 3.3. Aplicação do sensoriamento remoto ao inventário florestal

O inventário florestal é uma atividade desenvolvida em povoamentos florestais com objetivo de realizar a quantificação dos indivíduos que estão presentes em uma determinada área. É utilizado como ferramenta de diagnóstico do potencial produtivo da floresta, fornecendo assim informações quantitativas e qualitativas dos produtos florestais madeireiros e não-madeireiros (FRANCEZ et al., 2010).

Entre as características quantitativas pode-se citar: volume de madeira, área basal, biomassa, densidade, diâmetro médio quadrático e altura média das árvores dominantes. Em relação às características qualitativas, cabe citar: a vitalidade das árvores e a qualidade dos fustes (SCOLFORO; MELLO, 2006).

Atrelado a obtenção dessas variáveis, sabe-se que a maior parcela dos custos do inventário florestal está relacionada a coleta de dados em campo. Isso irá influenciar diretamente o processo de escolha do método e do tipo de delineamento de amostragem a serem utilizados no desenvolvimento dessa atividade (CAMPOS;

LEITE, 2017). Assim, segundo Sanquetta et al. (2006), técnicas de sensoriamento remoto são de grande uso dentro das atividades de inventário florestal.

O sensoriamento remoto (SR) pode ser então definido como uma tecnologia que possibilita a obtenção de informações a respeito de objetos sem que haja o contato físico com eles (SOUZA et al., 2007). O SR faz uso das propriedades das ondas eletromagnéticas que são emitidas, refletidas ou difracionadas pelos objetos sensoriados. O uso das imagens orbitais permite que seja realizada a quantificação de áreas de maneira menos subjetiva e rápida (WAGNER, 2013).

Com os avanços tecnológicos em relação às imagens originadas dos sensores remotos em conjunto com o avanço no processamento, observa-se uma melhor caracterização da estrutura (vertical e horizontal) das florestas e associação entre os dados coletados no local com os dados de radiância/reflectância originados das imagens de satélite (WATZLAWICK; KIRCHNER; SANQUETTA, 2009).

Como se trata de um método de obtenção de informações com baixo custo agregado, observa-se que houve um aumento na utilização das imagens orbitais, podendo citar o uso de dados provenientes dos satélites das séries Landsat, Spot, Cbers, Ikonos, Quick Bird, Modis (ROSENDO, 2005) que fornecem dados em diferentes escalas temporais.

O uso do sensoriamento remoto dentro das ciências florestais no Brasil possibilita a quantificação de recursos, controle das adversidades e auxilia no processo de monitoramento de locais potenciais para que sejam realizadas atividades de reflorestamento, servindo de base no processo de tomada de decisões e apresentando alicerces científicos confiáveis (SOUZA et al., 2007).

Ferraz (2012) estimou a biomassa aérea e o carbono estocado em um fragmento de Floresta Estacional Semidecidual com o uso de imagens do satélite IKONOS II. Foi avaliado o uso de 12 índices de vegetação e 4 bandas espectrais, no entanto, por meio da técnica *stepwise* de seleção de variáveis foram selecionadas apenas a banda 4 (referente a banda do infravermelho próximo) e a TCap1 (imagem transformada *Tasseled Cap* para a banda 1) para a estimação das variáveis analisadas. Para a estimação da biomassa total com o uso da variável banda 4 foi obtido  $\bar{R}^2$  de 0,348, e com o uso da variável TCap1 o  $\bar{R}^2$  foi de 0,458. Em relação ao estoque de carbono, utilizando a variável banda 4 o valor encontrado do  $\bar{R}^2$  foi de 0,354 e fazendo uso da variável TCap1 o  $\bar{R}^2$  foi 0,466.

Almeida et al. (2014) estudando a Caatinga brasileira, utilizaram dados provenientes do satélite Landsat 5 *Thematic Mapper* (TM) para estimarem as variáveis altura média, área basal e volume de madeira. Foram correlacionados índices de vegetação e seis bandas espectrais com as variáveis da floresta. Os autores concluíram que apenas a área basal não apresentou correlação significativa com nenhuma das variáveis analisadas, e que a técnica utilizada apresentou potencial explicativo para a variação em altura média por parcela (R<sup>2</sup> = 0,4 e RMSE = 13%) e para o volume de madeira por hectare (R<sup>2</sup> = 0,6 e RMSE = 42%).

Para a Amazônia brasileira, Lu et al. (2004) avaliaram a relação espectral dos dados Landsat 5 TM com as seguintes variáveis da floresta: altura média, diâmetro médio, área basal e biomassa aérea. Foi observado que existe correlação negativa entre as bandas espectrais do sensor TM e as variáveis estudadas, e baixa correlação entre os índices de vegetação que fizeram uso das bandas espectrais TM4 (região do infravermelho próximo) e TM3 (região do vermelho), e melhores correlações com as variáveis estudadas quando utilizaram a banda espectral TM 5 (infravermelho médio).

Em uma área de Cerradão, Miguel et al. (2015), exploraram as relações entre índices de vegetação obtidos por meio de dados do sensor *LISS-III* (*Linear imaging self-scanner*), a bordo do satélite *ResourceSat1* e da área basal, na estimação do volume de madeira e biomassa aérea. Eles observaram que as variáveis explicativas utilizadas, tanto pela técnica de regressão quanto pelo uso das redes neurais artificiais foram eficientes na estimação das variáveis da floresta, uma vez que o volume de madeira e a biomassa estimados pelas diferentes técnicas não diferiram estatisticamente dos valores obtidos pelo inventário florestal convencional.

#### 3.4. A série Landsat

A série de satélites Landsat tem uma base continua de imagens multiespectrais da Terra desde a década de 70, sendo o satélite Landsat 8 o último desta série. Desde o lançamento do primeiro Landsat, observou-se uma evolução na

qualidade radiométrica, resolução espacial e do número de bandas espectrais, por meio do aprimoramento dos sensores (USGS, 2016).

O sensor *Operational Land Imager* (*OLI*) do satélite Landsat 8 apresenta resolução espacial de 30 m para a região espectral do visível, infravermelho próximo e médio, e resolução de 15 m para a banda pancromática. Este sensor apresenta duas novas bandas espectrais, a "ultra azul" empregada nos estudos dos recursos hídricos e de zonas costaneiras, e a banda do infravermelho para detecção de nuvens cirrus. Já o *Thermal Infrared Sensor* (*TIRS*) apresenta duas bandas térmicas de comprimento de onda na região do infravermelho com resolução espacial de 100 m (LOVELAND; DWYER, 2012).

O objetivo dos dados Landsat é contribuírem no entendimento das mudanças que a Terra vem sofrendo ao longo do tempo, monitoramento dos recursos naturais, a preservação ambiental, saúde pública, bem-estar dos seres humanos e a segurança da nação (LOVELAND; DWYER, 2012). Até 2007 os custos para o acesso e aquisição dos dados Landsat limitavam os estudos da Terra e das suas modificações. Mas em janeiro de 2008, a *National Aeronautics and Space Administration (NASA)* e *USGS* criaram uma nova política sobre a distribuição dos dados Landsat, tornando esses dados livres de custos, permitindo assim que sejam realizados estudos sobre a história da superfície terrestre desde 1972, ressaltando as mudanças antropogênicas e naturais que ocorreram durante esses anos (WOODCOCK et al., 2008).

Diversas entidades como o governo, setor privado e a segurança nacional vem fazendo uso dos dados provenientes do Landsat, realizando atividades como o gerenciamento da água, efeitos das mudanças globais, controle da extração de petróleo e minerais, na agricultura, controle da poluição, mudanças na superfície terrestre e na cartografia (USGS, 2016).

A capacidade do sistema Landsat 8 de coleta de imagens multiespectrais da Terra chega em torno de 650 cenas por dia, que são criadas e armazenadas pela *USGS*. Todos os dados da série Landsat estão disponíveis dentro de 24 horas após a sua aquisição de forma gratuita a quaisquer usuários, nas seguintes plataformas: http://earthexplorer.usgs.gov, http://glovis.usgs.gov e http://landsatlook.usgs.gov (USGS, 2016).

## 3.5. Índices de vegetação

Os índices de vegetação foram desenvolvidos para monitoramento e quantificação das condições e distribuições espaciais da vegetação, fazendo uso de dados de reflectâncias espectrais originados da radiação eletromagnética. Os índices de vegetação são originados de diferentes combinações matemáticas das reflectâncias em diferentes faixas espectrais da radiação eletromagnética. Esses índices objetivam evidenciar as feições da vegetação bem como minimizar os falsos efeitos, como do solo, efeitos angulares ou atmosféricos, servem para mensurar o crescimento de culturas, incidência de doenças, pragas, secas, geadas dentre outros eventos calamitosos (EPIPHANIO et al., 1996; LIU, 2006).

Segundo Cassol (2013), existem três fenômenos físicos básicos resultantes da interação entre a radiação eletromagnética e a superfície vegetal, sendo elas: reflexão, transmissão e absorção, que podem ser calculadas de acordo com a Equação geral (1) do balanço de energia da radiação eletromagnética incidente:

$$1 = \rho + \tau + \alpha \tag{1}$$

Em que:  $\rho$  = reflectância;  $\tau$  = transmitância e  $\alpha$  = absortância.

A reflexão apresenta um fácil registro pelos sensores remotos, quando comparado aos demais fenômenos citados acima, sendo o mais examinado pelos pesquisadores da área de sensoriamento remoto. A intensidade da reflexão ao longo dos diferentes comprimentos de onda é definida como o comportamento espectral de um objeto-alvo (CASSOL, 2013).

Sabe-se que a resposta espectral da vegetação engloba uma série de fatores, como os efeitos ambientais, o brilho, cor e a umidade do solo, efeitos das variações espaciais e temporais das condições atmosféricas. Essa resposta espectral acontece em duas fases. Na primeira, os índices de vegetação são baseados nas combinações lineares ou nos dados brutos da reflectância que variam de 0 a 100%, o que equivale à diferentes escalas de níveis de cinza. Já na segunda fase, esses índices baseiam-se nos fenômenos físicos que ilustram as interações entre a

radiação eletromagnética, atmosfera, cobertura da vegetação e da superfície do solo (LIU, 2006).

As características que ocorrem no espectro da reflecção, transmitância e absortância têm uma ligação entre os pigmentos, estrutura e presença de água. As interações apresentadas pelos dosséis verdes e vegetação saudável são distintas nas regiões do espectro eletromagnético equivalente às faixas da região do visível e do infravermelho próximo (ROSENDO, 2005).

O uso de sensores para o acompanhamento em escala global da superfície terrestre, fornecem produtos como os índices de vegetação, que permitem observar as alterações na cobertura vegetal, por meio do uso da combinação das bandas do vermelho e do infravermelho próximo (ROSENDO, 2005).

Thiam e Eastman (2003) descrevem os principais índices de vegetação e suas características, dentre eles:

O Ratio Vegetation Index (RATIO) ou Índice de Razão Simples, desenvolvido por Rouse et al. em 1974, objetivando a separação da vegetação verde do solo. Os resultados desse índice detectam o contraste existente entre as bandas do vermelho e do infravermelho para os pixels da vegetação. Quando o valor desse índice for elevado, entende-se que existe baixa reflectância no vermelho (ocasionado pela absorção da clorofila) e alta reflectância no infravermelho (devido a estrutura das folhas). Permite a minimização dos problemas ligados a iluminação variável devido às condições topográficas e da iluminação solar. É obtido por meio da divisão de valores de reflectância entre as bandas do infravermelho próximo pela banda do vermelho, conforme a Equação (2):

$$RAZ\tilde{A}O SIMPLES = \frac{B_5}{B_4}$$
 (2)

Em que:  $B_5$  = banda correspondente à região do infravermelho próximo;  $B_4$  = banda correspondente ao vermelho.

O Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) ou Índice de Vegetação da
Diferença Normalizada foi proposto também por Rouse et al. em 1974 para
separar a vegetação verde do brilho do solo exposto. O uso desse índice de
vegetação é muito comum, pois, consegue minimizar os efeitos topográficos

ao gerar uma escala de medida do tipo linear, e também porque esse índice varia entre -1 e 1, em que valores próximos a 0 equivale a locais sem vegetação, conforme a Equação (3):

$$NDVI = \frac{B_5 - B_4}{B_5 + B_4} \tag{3}$$

O índice de vegetação transformado ou Transformed Vegetation Index (TVI) foi proposto por Deering et al. em 1975 o qual propõe uma modificação no NDVI acrescentando uma constante de 0,50 na equação, objetivando a eliminação de operações com valores negativos de NDVI, e uma raiz quadrada do resultado para a correção dos valores de NDVI, e assim introduzir uma distribuição normal aos dados. O seu cálculo é obtido conforme Equação (4):

$$TVI = \sqrt{\frac{B_5 - B_4}{B_5 + B_4} + 0.5}$$
 (4)

• O índice de vegetação ajustado ao solo ou *Soil Ajusted Vegetation Index* (SAVI) foi sugerido por Huete em 1988, objetivando diminuir os efeitos do solo de fundo no sinal da vegetação, por meio da incorporação de uma constante para ajuste do solo, chamada de L. O valor da constante L varia de acordo com a característica da reflectância do solo (calor e brilho), além de variar em função da densidade da vegetação a ser analisada. Quando a vegetação a ser estudada apresenta baixa densidade, é indicado utilizar o fator L = 1, se for intermediária L = 0,50 e caso apresente alta densidade L = 0,25, conforme a Equação (5):

$$SAVI = \frac{(B_5 - B_4)}{(B_5 + B_4 + L)} (1 + L)$$
 (5)

Em que: L = variável de ajuste do solo.

O Índice de Vegetação Ajustada ao Solo Modificado ou Modified Soil Ajusted
 Vegetation Index (MSAVI) desenvolvido por Qi et al. em 1994, os quais

propuseram duas alterações ao índice SAVI, baseadas na modificação do fator L. Essas duas alterações buscam uma melhor correção do brilho do solo de fundo para as diferentes condições da cobertura vegetal. Na primeira modificação denominada de MSAVI<sub>1</sub>, a constante L é selecionada por meio do uso de uma Equação empírica (7), pois, o valor de L diminui com o decréscimo da cobertura vegetal, à exemplo do que ocorre em áreas de semi-áridos. Assim, o índice MSAVI<sub>1</sub> pode anular ou diminuir o efeito do brilho do solo. Já a segunda modificação do SAVI para MSAVI<sub>2</sub>, faz uso do L indutivo, buscando assim retirar o ruído do solo que não foi anulado pelo produto NDVI e WDVI e também porque valores superiores a 1 no MSAVI<sub>1</sub> pode ser devido ao valor negativo do NDVI e WDVI, existindo assim limitação em seu uso em áreas com alta densidade de vegetação. Abaixo são mostradas as equações referentes ao MSAVI<sub>1</sub> (8) e MSAVI<sub>2</sub> (9):

$$WDVI = B_5 - \gamma B_A \tag{6}$$

$$L = 1 - (2\gamma NDVI)WDVI \tag{7}$$

$$MSAVI_{1} = \frac{B_{5} - B_{4}}{B_{5} + B_{4} + L} (1 + L)$$
 (8)

Em que:  $NDVI = Normalized Difference Vegetation Index; WDVI = Weighted Difference Vegetation Index; <math>\gamma = \text{inclinação da linha do solo de fundo}; 2 = \text{utilizado para aumentar o intervalo dinâmico do } L.$ 

$$MSAVI_{2} = \frac{2B_{5} + 1 - \sqrt{(2B_{5} + 1)^{2} - 8(B_{5} - B_{4})}}{2}$$
(9)

O Índice de Vegetação Melhorado ou *Enhanced Vegetation Index* (EVI), proposto por Huete et al. em 1997, objetiva melhorar o sinal da vegetação em locais que apresentam uma quantidade alta de biomassa. Esse índice apresenta alta capacidade de controle por meio do uso de quebra de sinal do substrato do dossel da vegetação, diminuindo assim a influência do efeito atmosférico. É obtido por meio da Equação (10) (ROSENDO, 2005):

$$EVI = G\left(\frac{B_5 - B_4}{B_5 + C_1 B_4 - C_2 B_2 + L}\right)$$
(10)

Em que:  $L = \acute{e}$  o fator de ajuste para o solo;  $C_1$  e  $C_2$  = são os coeficientes utilizados para correção de aerossóis (como fumaça, poeira, partícula de poluição do ar), fazendo uso da banda do azul para a correção da influência dos aerossóis na banda do vermelho; e  $B_2$  = banda do azul.

#### 3.6. Dados SRTM

A realização do levantamento de informações topográficas da Terra foi realizada pelos sensores da *Shuttle Radar Topography Mission* ou Missão Topográfica Radar Shuttle (*SRTM*). A coleta foi realizada no ano 2000, abrangendo 176 órbitas com 223 km de altura e inclinação orbital de 57°. Dessas, foram usadas 159 órbitas para a realização do mapeamento terrestre. A *SRTM* empregou *doissingle-pass radar interferometer* no levantamento de dados interferométricos (bandas C e X) que foram utilizados para a realização do Modelo Digital de Elevação (MDE) da superfície terrestre (BISPO, 2012).

Os MDE são registros altimétricos que foram estruturados em linhas e colunas georreferenciadas. Ressalta-se que os registros altimétricos são dados de altitude do relevo, sendo o MDE uma representação topográfica (VALERIANO, 2008).

Com a disponibilização dos dados *SRTM*, foi criada grande expectativa em relação ao desenvolvimento de estudos sobre território brasileiro, devido a disponibilização de dados topográficos com escalas adequadas. Para que esses dados sejam utilizados, o projeto Topodata foi desenvolvido como alternativa de cálculo e oferta de variáveis geomorfométricas locais para todo o território brasileiro. Esses dados servem de base para a interpretação e estudos do relevo (VALERIANO, 2008).

Os dados geomorfométricos podem ser divididos em locais ou não-locais. Os dados locais estão ligados a feições de distâncias reduzidas, fazendo necessário observar a vizinhança mais próxima de um ponto para a sua caracterização. Já os

não-locais, apresentam características mais abrangentes, com caráter regional, atrelado a uma maior complexidade quando comparada as variáveis locais (VALERIANO; ALBUQUERQUE, 2010).

Dentre as variáveis geomorfométricas locais, pode-se citar a elevação, declividade e a orientação dos vertentes (BISPO, 2012). Outras variáveis, como a rugosidade, a escala utilizada precisa ser analisada para serem classificadas como local ou regional.

Essas variáveis geomorfométricas apresentam uso comum nos estudos da vegetação. A altitude ou elevação do terreno corresponde a maneira como o solo e o clima estão distribuídos de forma atitudinal, ou seja, em relação ao nível do mar. Essa distribuição confere distintos padrões vegetativos para o ecossistema. A declividade é definida como o ângulo de inclinação que a superfície possui, influenciando diretamente nos processos de infiltração da água nos solos e do escoamento superficial, favorecendo o desenvolvimento de ecossistemas com características físicas e biológicas diferentes. A variável orientação de vertentes do terreno representa o posicionamento que a área apresenta em relação ao sol, ligado com a porcentagem de sombreamento ou de iluminação da área, sendo fator condicionante para o desenvolvimento de determinadas espécies em comparação à outras. Apresenta também influência no direcionamento do fluxo de matéria e da incidência solar (BISPO, 2007).

A rugosidade é um gradiente de textura da superfície de um terreno, que expressa a heterogeneidade da área. É uma variável de grande importância no processo de análise do terreno, refletindo os parâmetros geofísicos da superfície terrestre, como a estrutura, padrão de distribuição das crenulações do terreno e grau de erosão (HANI; SATHYAMOORTHY; ASIRVADAM, 2012). De acordo com Hollaus et al. (2011), existem dois tipos de rugosidade: a rugosidade da superfície que descreve objetos menores do que 20 cm, e a rugosidade do terreno que disponibiliza informações sobre objetos acima dos 20 cm, incluindo rochas e vegetação.

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1. Localização e caracterização da área de estudo

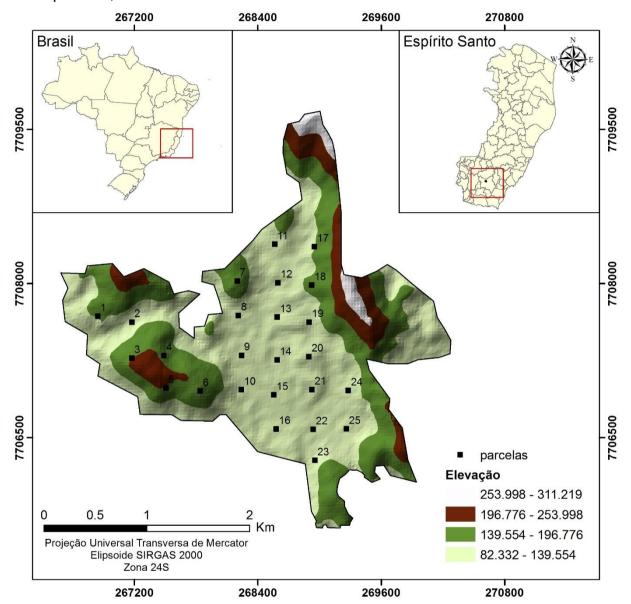
A área utilizada para o desenvolvimento desse estudo foi a Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) Cafundó (20°43'S e 41°13'W), que faz parte da Fazenda Boa Esperança, localizada no município de Cachoeiro de Itapemirim, Espírito Santo. Essa área foi consolidada RPPN no ano de 1998, e vem sendo preservada desde a década de 1940, apresentando cerca de 517 hectares de mata nativa divididos em quatro fragmentos florestais. A RPPN Cafundó já sofreu com perturbações antrópicas como a retirada seletiva de madeiras, caça e extração de palmito (ARCHANJO et al., 2012; DELARMELINA, 2015).

A RPPN Cafundó apresenta a vegetação classificada como Floresta Estacional Semidecidual Submontana (IBGE, 2012). O clima local é do tipo Aw (KÖPPEN, 1936), tropical com o inverno seco (ALVARES et al., 2013) e precipitação variando entre 1200 e 1300 mm (INCAPER, 2017).

Essa região apresenta áreas com elevações esparsas e suaves, aparecimento de afloramentos rochosos em locais distintos, e o relevo é caracterizado com feições denominadas de "Mar de morros", ondulados a fortemente ondulados, tendo como material de origem o granito-gnáissico de origem pré-cambriana (IBGE, 1987). O solo é classificado como Latossolo vermelho amarelo distrófico (EMBRAPA, 1999).

O Modelo Digital de Elevação do fragmento da RPPN estudado está apresentado na Figura 1.

Figura 1 – Modelo digital de elevação (MDE) do fragmento de Floresta Estacional Semidecidual Submontana pertencente a RPPN Cafundó, munícipio de Cachoeiro de Itapemirim, ES.



#### 4.2. Inventário florestal

A amostragem foi realizada entre os meses de maio a agosto de 2017 no fragmento da RPPN Cafundó que apresenta a maior área em estado de conservação, com aproximadamente 358 ha. Foram utilizadas 25 parcelas (Figura 1) demarcadas no estudo de Archanjo et al. (2012), que analisou a estrutura florística e fitossosiológica da reserva, no ano de 2007. Foi utilizada a amostragem sistemática, com parcelas de área fixa de 20 m x 50 m, equidistantes 350 m entre si, totalizando 2,5 ha amostrados.

Para combinar os dados de amostragem em campo com os dados do sensoriamento remoto, foram coletadas as coordenadas geográficas de cada um dos vértices das parcelas com o uso do GPS modelo Garmin GPSmap 76CSx, que apresenta erro próximo de 10 m.

Dentro de cada parcela, foi medido o diâmetro a 1,30 metros do solo (*DAP*) de todas as árvores que apresentavam diâmetro igual ou superior a 5 cm, utilizando a fita diamétrica. A altura das árvores de até 15 metros foi obtida com o uso de régua telescópica, que é um método de medição direta da altura das árvores e fornece valores da altura com alta precisão. As demais alturas foram medidas utilizando-se o hipsômetro *Suunto*. Indivíduos bifurcados tiveram as suas ramificações consideradas, desde que as mesmas estivessem vivas e apresentassem o critério de inclusão previamente definido.

As variáveis dendrométricas avaliadas nesse trabalho foram a área basal (m²) e o volume de madeira (m³), considerando para o cálculo todos os indivíduos mensurados nas parcelas.

A área basal (G) por parcela foi obtida por meio do somatório das áreas basais ( $g_i$ ) das árvores contidas na mesma, conforme as Equações (11) e (12), e extrapoladas para hectare.

$$g_i = \frac{\pi DAP^2}{40000} \tag{11}$$

$$G = \sum_{i=1}^{n} g_i \tag{12}$$

Em que:  $g_i$  é a área basal da i-ésima árvore (m²) e G é a área basal da parcela (m²).

Para a realização da cubagem e posterior obtenção do volume de madeira da área, foi realizado a análise da estrutura horizontal e dos parâmetros fitossociológicos da RPPN Cafundó (Apêndice 1), empregando-se para isso o *Software* Mata Nativa 4. Foram selecionadas para a cubagem as seis espécies de maior índice de valor de importância (IVI), que correspondem a 24,36% do IVI da comunidade estudada (Tabela 1).

Tabela 1 - Espécies selecionadas para cubagem e o índice de valor de importância relativo (IVI%) para cada uma das espécies cubadas.

Espécie	IVI%
Astronium concinnum	7,52
Pseudopiptadenia contorta	4,22
Neoraputia alba	3,96
Astronium graveolens	3,09
Goniorrhachis marginata	2,83
Gallesia integrifólia	2,74
Sub-total Sub-total	24,36
Demais Espécies	75,64
Total Geral	100

Em seguida, procedeu-se a distribuição das árvores de maior IVI por classe diamétrica, com amplitude de 15 cm (Tabela 2).

Tabela 2 – Número de árvores que foram cubadas por espécie e classe de DAP.

Espécie		Classes Diamétricas							
Especie	5 F 20	20 F 35	<b>35 ⊦ 50</b>	50 F 65	65 F 80	Total			
Astronium concinnum	8	7	2	5	3	25			
Astronium graveolens	11	8	4	2		25			
Gallesia integrifólia	7	6	6	6		25			
Goniorrhachis marginata	12	6	5	2		25			
Neoraputia alba	20	5				25			
Pseudopiptadenia contorta	9	10	5	1		25			
Total de fustes cubados	67	42	22	16	3	150			

Utilizou-se o método de cubagem de Huber de forma não destrutiva, sendo os diâmetros do fuste das árvores medidos com auxílio da suta nas alturas de 0,50 m;

1,00 m; 1,30 m; 1,80 m, e a partir da altura de 1,80 m a cada 1,00 m com o auxílio do dendrômetro *Criterion RD1000* até o início da copa.

O volume de cada torete foi calculado por meio do produto da área transversal do meio do torete pelo seu comprimento (Equação 13). O volume total do fuste da árvore consistiu na soma dos volumes dos toretes.

$$V = g_m L \tag{13}$$

Em que:  $V = \text{volume da seção (m}^3)$ ;  $g_m = \text{área seccional no meio da seção (m}^2)$ ; L = comprimento da seção (m).

Com base nos dados de volume de madeira obtidos por meio do processo de cubagem das árvores, foi realizada a análise de regressão, fazendo o ajuste do modelo de Schumacher-Hall (Equação 14) para cada uma das seis espécies de maior IVI e uma equação geral que considerou as seis espécies cubadas.

$$V_{i} = \beta_{0} DA P_{i}^{\beta_{1}} H T_{i}^{\beta_{2}} \varepsilon_{i}$$

$$\tag{14}$$

Em que: V = volume de madeira (m³) da i-ésima árvore; DAP = diâmetro à 1,30 m do solo da i-ésima árvore (cm); Ht= altura total (m) da i-ésima árvore;  $\beta_k$  = coeficientes do modelo;  $\varepsilon_i$  = erro aleatório associado ao modelo com média E  $\{\varepsilon_i\}$  = 0 e variância  $\sigma^2$   $\{\varepsilon_i\}$  =  $\sigma^2$ .

Os cálculos dos estimadores populacionais do inventário florestal, com amostragem sistemática foi realizado conforme Soares; Paula Neto e Souza (2011):

#### a) Média aritmética

$$\bar{X} = \frac{\sum_{j=1}^{N} X_j}{n} \tag{15}$$

Em que:  $\bar{X}$  = Área basal ou volume de madeira médio; n= intensidade amostral;  $X_i$  é a área basal ou volume de madeira da i-ésima parcela do inventário florestal.

b) Variância da média

$$S_{\bar{X}}^{2} \cong \frac{\sum_{i=1}^{n} (x_{i} - x_{i+1})^{2}}{2n(n-1)} (1-f)$$
(16)

Em que: f = fração amostral (n/N ou área amostrada/ área total do fragmento florestal em estudo); N= número de parcelas cabíveis na área total do fragmento florestal em estudo.

c) Erro padrão da média

$$S_{\bar{X}} = \pm \frac{S_X}{\sqrt{n}} \sqrt{(1-f)} \tag{17}$$

d) Erro de amostragem absoluto

$$E_a = \pm t s_{\bar{x}} \tag{18}$$

Em que:  $t = teste de t de Student (\alpha; n - 1 g.l.)$ .

e) Erro de amostragem relativo

$$E_r = \pm \frac{t s_{\bar{X}}}{\bar{X}} 100 \tag{19}$$

f) Total de área basal ou volume de madeira extrapolado para área estudada

$$\hat{X} = N\overline{X} \tag{20}$$

#### 4.3. Obtenção dos dados de sensoriamento remoto

A imagem do sensor *OLI* do Landsat 8 foi obtida junto ao site da USGS, contendo as bandas 2, 3, 4, 5, 6 e 7 (Tabela 3) com resolução espacial de 30 metros para a área da RPPN Cafundó. A imagem escolhida foi referente ao mês de maio, que coincidiu com a data inicial da amostragem dos dados em campo. Foi levado em consideração a influência da quantidade e distribuição de nuvens na área, sendo selecionada uma imagem sem nuvens na área imageada.

Tabela 3 – Bandas espectrais utilizadas do sensor *OLI* e os seus respectivos comprimentos de ondas.

Bandas	Comprimento de onda (micrômetros)
Banda 2 (azul)	0,45-0,51
Banda 3 (verde)	0,53-0,59
Banda 4 (vermelho)	0,64-0,67
Banda 5 (Infravermelho próximo)	0,85-0,88
Banda 6 (infravermelho de ondas curtas 1)	1,57-1,65
Banda 7 (infravermelho de ondas curtas 2)	2,11-2,29

Fonte: Loveland e Irons (2016) e adaptada pela autora

O software de código aberto *Quantum GIS* (QGIS) versão 2.18 foi utilizado para o georreferenciamento das bandas espectrais utilizadas, sendo a projeção final SIRGAS 2000, zona 24 Sul, bem como para a correção radiométrica das bandas espectrais utilizadas. O modelo empregado para a correção radiométrica foi o *Dark Object Subtraction* (*DOS*) proposto por Chavez (1988).

Os números digitais (ND) foram convertidos em radiância espectral e, após isso, convertidos em reflectância ( $\rho$ ). A radiância pode ser calculada por meio do uso das Equações 21 e 22:

$$L_{0}(\lambda) = \frac{ND(\lambda) - Offset(\lambda)}{G(\lambda)}$$
(21)

$$L_{0}(\lambda) = Lmin(\lambda) + \left(\frac{Lmáx(\lambda) - Lmin(\lambda)}{2^{x}}\right)ND(\lambda)$$
(22)

Em que: ND = números digitais; offset = quantidade de valores em NDs suficiente para compensar a chamada corrente escuro do detector; G = valor de ganho normalmente ajustado para impedir que o valor medido sature positivamente quando

o detector observa objetos claros, e negativamente quando observa objetos escuros;  $\lambda$  = caráter espectral dos termos da equação; Lmín = radiância mínima; Lmáx = radiância máxima; e x = número de bits.

Os valores da radiância bidirecional aparente são utilizados no cálculo do fator de reflectância bidirecional aparente, com o uso da Equação (23):

$$\rho a = \frac{\pi L_0(\lambda) d^2}{E sun(\lambda) \cos \theta}$$
 (23)

Em que:  $\rho a$  = fator de reflectância bidirecional aparente;  $L_0$  = radiância bidirecional aparente das bandas: banda 2 = 0,012454; banda 3= 0,011476; banda 4= 0,009677; banda 5 = 0,005922; banda 6 = 0,001473; e banda 7 = 0,00049639 (unidade de medida mW cm<sup>-2</sup> sr<sup>-1</sup>  $\mu$ m<sup>-1</sup>); d = distância Sol-Terra em unidades astronômicas (1,0160708); Esun = irradiância média do Sol no topo da atmosfera (3,14159265358979 mW cm<sup>-2</sup> sr<sup>-1</sup>  $\mu$ m<sup>-1</sup>);  $\theta$  = ângulo solar zenital (39,14969722°).

A obtenção do *SRTM* foi realizada junto ao USGS que fornece um arquivo de Modelo de Elevação Digital do terreno com informações de altitude (em metros). Em seguida, por meio do uso do *software* livre QGIS versão 2.18, foram realizadas operações de vizinhança obtendo-se assim as demais variáveis geomorfométricas utilizadas: orientação dos vertentes, declividade e rugosidade, ambos com resolução final de 30 metros.

A orientação dos vertentes foram obtidas por meio da Equação (24) (ARCGIS, 2018):

$$O.V = \frac{180}{\pi} ATAN2 \left( \left\lceil \frac{dz}{dy} \right\rceil, - \left\lceil \frac{dz}{dx} \right\rceil \right)$$
 (24)

Em que:O.V= orientação dos vertentes; ATAN2= o arco tangente de y e x;  $\left\lceil \frac{dz}{dx} \right\rceil$ 

=taxa de variação da altitude em relação ao eixo horizontal;  $\left[\frac{dz}{dy}\right]$  = taxa de variação da altitude em relação ao eixo vertical.

Posteriormente, a orientação dos vertentes foi convertida para graus (25) (26):

Se 
$$O.V \le 0$$
 teremos,  $O.V(^{\circ}) = 90,0 - O.V$  ou (25)

Se O.V > 90,0 teremos, O.V(
$$^{\circ}$$
) = 360,0 - O.V + 90,0 (26)

A declividade foi obtida por meio da Equação (27) (ARCGIS, 2018):

$$Declividade = ATAN \left( \sqrt{\left[ \frac{dz}{dx} \right]^2 + \left[ \frac{dz}{dy} \right]^2} \right) \frac{180}{\pi}$$
 (27)

Em que: ATAN= arco tangente.

O cálculo da rugosidade foi realizado seguindo a proposta de Hobson (1972 citado por SAMPAIO; AUGUSTIN, 2014):

$$Rugosidade = \frac{S_i}{S_p}$$
 (28)

Em que:  $S_i$ = área da superfície do terreno inclinada;  $S_p$ = a área da superfície do terreno reduzido ao plano.

#### 4.4. Variáveis explicativas utilizadas

Após a realização do pré-processamento das imagens, foi realizada a extração das variáveis explicativas de cada uma das bandas espectrais e dados *SRTM*, com o uso do *software* R (R CORE TEAM, 2017), sendo os resultados armazenados em tabelas.

As variáveis explicativas utilizadas nesse estudo encontram-se abaixo:

a) Bandas individuais

Em que:  $B_2$  = banda do azul;  $B_3$  = banda do verde;  $B_4$  = banda do vermelho;  $B_5$  = banda do infravermelho próximo;  $B_6$  = banda do infravermelho de ondas curtas 1;  $B_7$  = banda do infravermelho de ondas curtas 2.

b) Razão entre bandas

$$g_{div}(1,p) = \frac{g_1(1,p)}{g_2(1,p)}$$

Em que: g = banda; l, p = pixel de posição correspondente.

c) Índices de vegetação

$$NDVI = \frac{B_5 - B_4}{B_5 + B_4}$$

$$SAVI = \frac{(B_5 - B_4)}{B_5 + B_4 + L}(1 + L)$$

$$RAZÃO SIMPLES = \frac{B_5}{B_4}$$

$$MSAVI = \frac{2B_5 + 1 - \sqrt{(2B_5 + 1)^2 - 8(B_5 - B_4)}}{2}$$

$$EVI = G\frac{(B_5 - B_4)}{(B_5 + C_1B_4 - C_2B_2 + L)}$$

$$TVI = \sqrt{\frac{B_5 - B_4}{B_5 + B_4} + 0.5}$$

Em que: NDVI = índice de vegetação da diferença normalizada; SAVI = índice de vegetação ajustado ao solo; MSAVI = índice de vegetação ajustada ao solo modificado; EVI = índice de vegetação melhorado; TVI = índice de vegetação transformado;  $C_1$  = fator de correção dos efeitos atmosféricos para a banda do vermelho; G = fator de ganho;  $C_2$  = fator de correção para a banda do azul; e L = 0,5 (para densidades florestais médias).

#### d) Variáveis SRTM

Declividade (%), Altitude (m), Rugosidade e Orientação dos vertentes (°).

Avaliou-se o tamanho da parcela (20 m x 50 m) e três opções de tamanho de janelas espectrais para a extração das variáveis obtidas pelo sensor *OLI*: janela 1 que equivale a média de 1 x 1 pixel (30 m x 30 m); janela 2 que equivale a média de

2 x 2 pixels (60 m x 60 m); e janela 3 que equivale a média de 3 x 3 pixels (90 m x 90 m). Como a RPPN Cafundó é uma área com vegetação heterogênea, utilizou-se esses tamanhos de janelas espectrais que são indicadas para locais com essa característica (LOCK; KIRCHNER, 1997).

Os valores referentes às bandas espectrais, razão entre bandas, índices de vegetação e dos dados *SRTM* foram associados aos dados médios das 25 parcelas inventariadas. Essa associação foi realizada por meio do uso das coordenadas (vértices das parcelas) coletadas em campo.

No Apêndice 2, as figuras 5 a 12 ilustram as correlações entre as variáveis independentes (variáveis do sensoriamento remoto) e as variáveis dependentes (área basal e volume de madeira) provenientes dos dados das diferentes janelas espectrais e área da parcela.

4.5. Estimação das variáveis dendrométricas área basal e volume de madeira por análise de regressão

A seleção das variáveis explicativas e a modelagem para a área da parcela e por janelas espectrais foram realizadas com o auxílio do *software* R versão 3.3.3. (R CORE TEAM, 2017). Para a seleção das variáveis independentes do modelo foi utilizado o pacote *Leaps* (LUMLEY, 2017). O método de seleção utilizado foi o de busca *exaustiva*, que testa e compara todas as combinações possíveis das variáveis explicativas buscando encontrar o melhor subconjunto de variáveis (HOLSCHUH, 2008).

Após a seleção das variáveis explicativas, foi realizado o ajuste do modelo (29):

$$Y_{i} = \beta_{0} + \beta_{1} X_{i_{1}} + \beta_{2} X_{i_{2}} + \dots + \beta_{p} X_{i_{p}} + \varepsilon_{i}$$
(29)

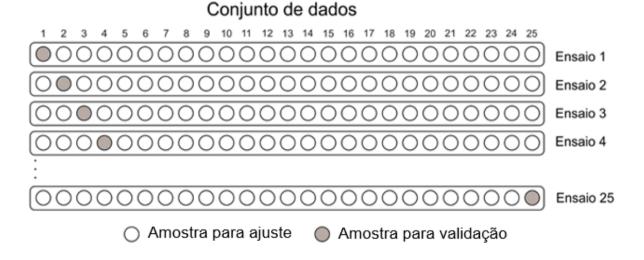
Em que:  $Y_{\vdash}$  valor da variável dependente na i-ésima observação, correspondendo a área basal ou volume de madeira;  $\beta_p$  = coeficientes do modelo;  $X_{i1}$ ,  $X_{i2}$ , ...,  $X_{i,p}$  são os

valores das p-ésima variável explicativa na i-ésima observação;  $\varepsilon_i$  = erro aleatório com média E{  $\varepsilon_i$ } = 0 e variância  $\sigma^2$  { $\varepsilon_i$ } =  $\sigma^2$ .

Foram ajustadas sete equações (variando o número de seleção de variáveis explicativas entre 1 e 7) referentes a área da parcela e janelas espectrais combinados com os dados de relevo obtidos por meio do SRTM, para a área basal e volume de madeira, totalizando 28 equações por variável dependente. No entanto, são discutidos neste trabalho apenas as equações que melhor se ajustaram pela combinação da área da parcela e janelas espectrais com a variável dependente, baseando-se na análise estatística e na significância das variáveis selecionadas nas equações. As demais equações ajustadas encontram-se no Apêndice 3.

Como o trabalho foi executado com dados provenientes de 25 parcelas, optou-se por empregar a técnica de validação cruzada dos dados denominada de *leave-one-out*, ou "deixe um de fora", que é um caso especial da técnica de K-partições. Essa técnica faz a divisão dos dados em k subconjuntos, em que k corresponde ao número total de amostras, ou seja, k = n (SILVA; SPATTI; FLAUZINO, 2010). Nessa etapa do processamento dos dados fez-se uso do pacote *Statistics and Machine Learning Toolbox*™ do *software* MATLAB versão R2017a. A Figura 2 demonstra como a estratégia de validação cruzada foi desenvolvida:

Figura 2 - Método de validação cruzada por unidade ou *leave-one-out*.



Fonte: Silva; Spatti e Flauzino (2010) adaptada pela autora

#### 4.6. Avaliação do ajuste e validação das equações

Para avaliar o desempenho das equações ajustadas na estimação da área basal e volume de madeira, foram utilizados os gráficos das variáveis observadas versus variáveis estimadas, gráficos dos resíduos versus valores estimados, o coeficiente de determinação ajustado ( $\bar{R}^2$ ) (Equação 30) e a raiz do erro quadrado médio (RMSE %) (Equação 31) para ajuste e para cada um dos conjuntos de dados da validação, e em seguida, obteve-se o valor médio, que refere-se ao o coeficiente de determinação ajustado ( $\bar{R}^2_{CV}$ ) e o erro (RMSEcv%) da validação cruzada *Leave-one-out*.

$$\overline{R}^{2} = 1 - \left(\frac{n-1}{n-p}\right) \left[1 - \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^{n} (Y_{i} - \hat{Y}_{i})^{2}}{\sum_{i=1}^{n} (Y_{i} - \overline{Y}_{i})^{2}}\right)\right]$$
(30)

$$RMSE(\%) = \frac{100}{\overline{Y}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n}}$$
(31)

Em que:  $Y_i$  = variável dependente observada,  $\hat{Y}_i$  = variável dependente estimada,  $\overline{Y}$  = média da variável dependente observada, p = número de parâmetros estimados na equação e n = número de observações.

# 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 5.1. Inventário florestal realizado na RPPN Cafundó

Foram mensurados 4550 indivíduos vivos com *DAP* mínimo de 5 cm, distribuídas em 229 espécies arbóreas, pertencentes a 58 famílias. Os parâmetros fitossociológicos referentes a estrutura horizontal são apresentados no Apêndice 1, em ordem decrescente de IVI (%).

As equações de volume apresentadas na Tabela 4 foram ajustadas a partir da cubagem rigorosa realizada nas seis espécies de maior IVI (%).

Tabela 4 – Equações de volume ajustadas e estatísticas utilizadas para avaliar o desempenho do modelo de Schumacher-Hall na estimação do volume de madeira com casca de árvores da RPPN Cafundó.

Espécies	Equação	$ar{R}^{2}$	RMSE (%)
A. concinnum	$\hat{V} = 0,00002407^{ns} DAP^{2,39000^*} HT^{0,61870^*}$	0,9312	30,95
A. graveolens	$\hat{V} = 0,00000985^{ns} DAP^{2,84600*} HT^{0,51440ns}$	0,9142	30,36
G. integrifolia	$\hat{V} = 0,00034100^{ns} DAP^{1,98306*} HT^{0,30764ns}$	0,8851	30,65
G. marginata	$\hat{V} = 0.00000210^{ns} DAP^{1.42900^*} HT^{2.43800^*}$	0,9319	34,58
N. alba	$\hat{V} = 0,00009500^{*} DAP^{1,72100^{*}} HT^{0,89560^{*}}$	0,9667	17,12
P. contorta	$\hat{V} = 0,00006940^{ns} DAP^{2,67300^*} HT^{0,00475ns}$	0,9142	31,47
Geral	$\hat{V} = 0,00006346^* DAP^{2,21800^*} HT^{0,54240^*}$	0,9219	42,16

Em que:  $\overline{R}^2$  = coeficiente de determinação ajustado; RMSE (%) = raiz do erro quadrado médio; \* = significativo a 5% pelo teste t, \* = não significativo a 5% pelo teste t.

As espécies *A. graveolens*, *G. integrifolia* e *P. contorta* apresentaram o parâmetro  $\hat{\beta}_2$  não significativo (p > 0,05). Segundo Silva e Santana (2014), um parâmetro não significativo pelo teste de t de *Student* indica que a variável analisada (Ht) não explica as variações que o volume de madeira apresenta.

As estatísticas descritivas do inventário florestal realizado no fragmento da RPPN Cafundó (25 parcelas) e a exatidão obtida por esses dados estão apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5 - Estatísticas descritivas dos dados de inventário florestal realizado no fragmento da RPPN Cafundó estudado.

	Parâmetros	Área basal (m²ha <sup>-1</sup> )	Volume de madeira (m³ha <sup>-1</sup> )
	Média	31,27	276,4554
Estatísticas	Desvio padrão	9,39	122,6775
	Valor mínimo	18,19	122,0928
	Valor máximo	60,52	615,1195
	Erro absoluto	3,22	39,5222
<b>Estimadores</b>	Erro relativo (%)	10,29	14,30
	Total do fragmento estudado	11.192,73	98.971,0290

A área basal média encontrada foi superior à média obtida por Amaro (2010), no entanto a média de volume foi inferior. Amaro (2010) estudou uma Floresta Estacional Semidecidual Montana em Viçosa, Minas Gerais, e encontrou uma área basal média de 27,693 m².ha-¹, área basal mínima de 19,146 m².ha-¹ e máxima de 44,654 m².ha-¹. Em relação ao volume de madeira com casca médio o valor encontrado foi de 281,51 m³.ha-¹, o mínimo foi de 154,49 m³.ha-¹ e o máximo de 579,59 m³.ha-¹.

Ao estudar duas matas formadas por Floresta Estacional Semidecidual Submontana pertencentes ao bioma Mata Atlântica, Souza et al. (2012) encontraram um volume médio de 115,40 m³.ha⁻¹ e desvio padrão de 66,47 m³.ha⁻¹ para a mata 1 classificada em estágio médio de sucessão ecológica, e para a mata 2 que apresenta estágio médio avançado de sucessão ecológica um volume médio de 245,20 m³.ha⁻¹ com desvio padrão 99,66 m³.ha⁻¹.

#### 5.2. Estimação da área basal por meio do uso de dados do sensoriamento remoto

A técnica de seleção de variáveis utilizada, de busca exaustiva, selecionou para os conjuntos de dados avaliados diferentes combinações das variáveis explicativas, e pela análise do ajuste da regressão pode-se escolher a combinação que melhor explicou a predição da área basal do fragmento de Floresta Estacional Semidecidual Submontana estudado.

Na Tabela 6 são apresentadas as variáveis selecionadas, as equações com os melhores ajustes e os parâmetros estimados para a predição da área basal para as diferentes fontes de dados avaliadas. Observa-se ainda na Tabela 6 que todos os parâmetros foram significativos (p < 0.01; p < 0.05; p < 0.1) pelo teste de t.

Tabela 6 - Equações selecionadas com os dados provenientes da área da parcela e janelas espectrais para a estimação da área basal.

# DadosEquação Área basalA. P. $\hat{G} = 11510 - 8724V_{13} - 22200V_{16} - 3431V_{17} - 17860V_{21} - 1151V_{38} + 0,47V_{44} - 0,31V_{45}$ 1 $\hat{G} = 510,3994 + 31,2136V_{30} - 172,7639V_{31} - 107,1739V_{34} + 0,5545V_{44} - 0,3576V_{45}$ 2 $\hat{G} = 264,2175 - 848,476V_{15} - 41,0668V_{33} + 0,23717V_{44}$ 3 $\hat{G} = 1138 - 33580V_2 + 4373V_{11} + 9569V_{20} - 23,27V_{33} - 338,6V_{37} - 3,418V_{43} + 1,109V_{44}$

Em que: Dados A. P.= área da parcela com todos os coeficientes significativos a 1% pelo teste t; dados 1 = janela 1 com todos os coeficientes significativos a 10% pelo teste t; dados 2 = janela 2 com todos os coeficientes significativos a 5% pelo teste t; dados 3 = janela 3 com todos os coeficientes significativos a 5% pelo teste t;  $V_{2=}B_3$ 

; 
$$V_{11=}$$
 SAVI;  $V_{13=}$   $\frac{B_2}{B_3}$ ;  $V_{15=}$   $\frac{B_2}{B_5}$ ;  $V_{16=}$   $\frac{B_2}{B_6}$ ;  $V_{17=}$   $\frac{B_2}{B_7}$ ;  $V_{20=}$   $\frac{B_3}{B_5}$ ;  $V_{21=}$   $\frac{B_3}{B_6}$ ;  $V_{30=}$   $\frac{B_5}{B_4}$ ;  $V_{31=}$   $\frac{B_5}{B_6}$ ;  $V_{33=}$   $\frac{B_6}{B_2}$ ;  $V_{34=}$   $\frac{B_6}{B_2}$ ;  $V_{37=}$   $\frac{B_6}{B_7}$ ;  $V_{38=}$   $\frac{B_7}{B_2}$ ;  $V_{43=}$  declividade;  $V_{44=}$  rugosidade;  $V_{45=}$  altitude.

As bandas espectrais, seja em sua forma isolada, razão entre bandas ou índices de vegetação, estão presentes nas quatro melhores equações ajustadas para a estimação da área basal (Tabela 6). O entendimento sobre a relação teórica entre os dados espectrais e a vegetação fotossinteticamente ativa fornece informações sobre como a floresta e a radiação eletromagnética interagem, sendo

essa resposta posteriormente utilizada no processo de estimação de variáveis da floresta, como a área basal.

A região do visível, que compreende as bandas do azul, verde e vermelho (2, 3 e 4, respectivamente), é caracterizada pela baixa reflectância da radiação eletromagnética, fato relacionado a absorção da radiação pelos pigmentos da vegetação. Na região do azul (0,48 μm) ocorre a interação da radiação com os carotenóides, e na região do vermelho (0,62 μm) a clorofila é responsável por essa absorção. No comprimento de onda do verde (0,56 μm) há uma elevação nos valores da reflectância, não ultrapassando 20%, sendo responsável pela percepção verde da vegetação. A vegetação na região do infravermelho próximo (0,7 μm a 1,3 μm) apresenta-se altamente reflectiva, devido a interação da estrutura celular (estrutura do mesófilo) com a radiação incidente. Entre 1,3 μm a 2,5 μm, a taxa de reflectância da vegetação apresenta ligação direta com o teor de água nas folhas, pois, a presença da água no preenchimento dos espaços vazios reduz o espalhamento da radiação, elevando assim, a transmitância (NOVO, 2010; WATZLAWICK; KIRCHNER; SANQUETTA, 2009).

A presença das razões entre bandas nas equações selecionadas confirma a importância da utilização de diferentes combinações entre as bandas espectrais, além dos índices de vegetação que são tradicionalmente utilizados.

Aplicando a técnica de razão entre bandas por meio do uso de imagens espectrais provenientes do Landsat TM e Landsat ETM<sup>+</sup>, Araujo e Mello (2010) observaram que ao utilizar diferentes combinações entre as bandas espectrais foi possível realçar diferentes atributos do solo, relevos, vegetação, corpos d'agua e aspectos estruturais, possibilitando a caracterização ambiental e geológica da área estudada.

O índice de vegetação SAVI foi o único selecionado e está presente na equação da janela espectral 3. Esse índice de vegetação apresenta em sua estrutura forte ligação com o efeito do solo (HUETE, 1988) e capacidade de discriminação dos tipos de estratos vegetativos presentes na área. Em Santos et al. (2017), o índice de vegetação SAVI influenciou o processo de estimação da área basal de uma fitofisionomia do Cerrado.

A seleção desse índice pode ser associada a característica da área de estudo. O fragmento de Floresta Estacional Semidecidual Submontana, pertencente a RPPN Cafundó, apresenta estágio avançado de conservação (ARCHANJO et al.,

2012). Entretanto, como possui topografia heterogênea, variando de áreas planas até topo de morro, ocorre a formação de estratos do dossel com diferentes características de cobertura.

Além das variáveis explicativas provenientes do sensor *OLI*, variáveis geomorfométricas derivadas de dados do relevo *SRTM* também foram selecionadas. Alguns estudos vêm mostrando a influência das condições topográficas do terreno no comportamento da vegetação, que em conjunto com as condições do solo, climáticas, geológicas e intervenções antrópicas, levam a existência da flora e fauna com características próprias para determinado ecossistema (BISPO, 2007), influenciando diretamente o desenvolvimento da vegetação.

A variável rugosidade, que representa o conjunto de atributos topográficos, está presente nas quatro equações selecionadas. A altitude consta na área da parcela e janela espectral 1, e a declividade na janela espectral 3. A presença dessas variáveis nas equações ajustadas demonstra a influência dos atributos do terreno nas características da floresta. Delarmelina (2015) avaliou 12 das 25 parcelas utilizadas nesse estudo, e observou que a altitude das parcelas variava de 91 a 160 metros e a declividade entre 1 e 25%, evidenciando a amplitude de tipologias do relevo, com áreas de topo de morro, baixada e encosta.

A topografia influenciou o padrão de distribuição de algumas espécies lenhosas e populações florestais em um fragmento do Cerrado sentido restrito de interflúvio e vale. O estudo avaliou a composição florística, a densidade e área basal. As diferentes profundidades do lençol freático, relacionadas com a topografia, promoveram mudanças no número de indivíduos por hectare (1.219 para área de interflúvio e 956 para área de vale), na área basal (8,56 m².ha⁻¹ e 5,65 m².ha⁻¹, para interflúvio e vale, respectivamente) e na diversidade florística (FONSECA; SILVA JÚNIOR, 2004).

Em uma pesquisa desenvolvida na Floresta Nacional de Tapajós, fazendo uso de variáveis *SRTM* (altitude, declividade, orientação de vertentes, curvatura horizontal e curvatura vertical) para estimação da área basal, abertura do dossel e altura das árvores, foi observado que a altitude foi a variável que apresentou a maior capacidade explicativa da estrutura da vegetação (BISPO et al., 2016).

A variável orientação dos vertentes, que refere-se ao ângulo azimutal que o terreno está exposto, não foi selecionada em nenhuma das equações, mostrando assim que essa variável não apresenta fator potencial de influência direta na

predição da área basal, fato também observado por Bispo (2012), que concluiu que a orientação dos vertentes não explica diretamente as condições ecofisiológicas da área estudada.

Na Tabela 7, as estatísticas de avaliação e validação cruzada para a área basal do fragmento da Floresta Estacional Semidecidual Submontana estudado são apresentadas.

Tabela 7 – Estatísticas de ajuste e validação cruzada referentes as equações ajustadas para a predição da área basal.

D - 1		Ajuste	Validação cruzada			
Dados	$\bar{R}^{2}$	RMSE (m²ha <sup>-1</sup> )	$ar{R}_{cv}^2$	RMSE <sub>CV</sub> (m²ha <sup>-1</sup> )		
A. P.	0,5012	5,47 (17,48%)	0,3000	8,26 (26,43%)		
1	0,3234	6,73 (21,53%)	0,1574	8,81 (28,17%)		
2	0,4336	6,47 (20,70%)	0,2832	7,95 (25,43%)		
3	0,6554	4,54 (14,53%)	0,6244	5,67 (18,15%)		

Em que: Dados A. P.= obtidos pelo tamanho da parcela estudada; Dados 1 = provenientes da janela espectral 1; Dados 2 = provenientes da janela espectral 2; Dados 3 = provenientes da janela espectral 3;  $\bar{R}^2$  = coeficiente de determinação ajustado; RMSE = raiz do erro quadrado médio;  $\bar{R}_{CV}^2$  = coeficiente de determinação ajustado médio proveniente da validação cruzada; RMSE<sub>cv</sub> = raiz do erro quadrado médio proveniente da validação cruzada *Leave-one-out*.

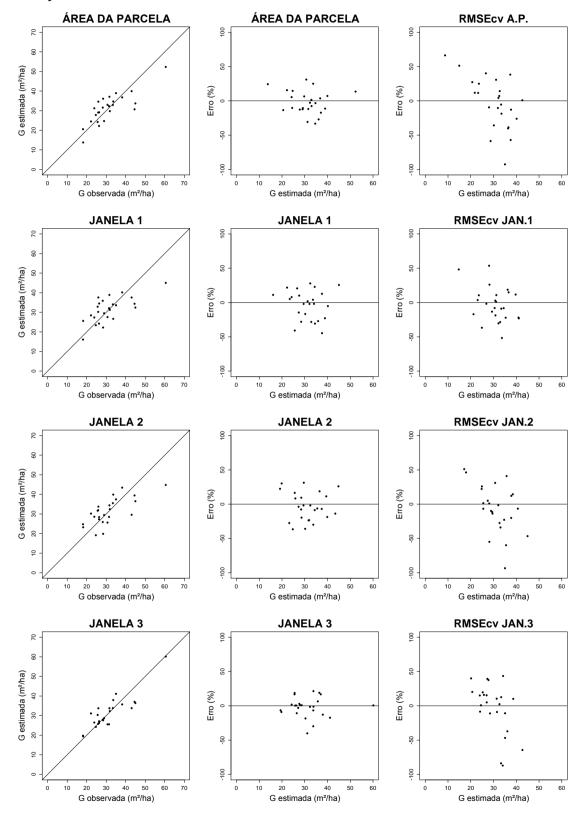
A janela espectral 1 para ajuste e para a validação cruzada dos dados apresentou os menores valores de  $\bar{R}^2$  (0,3234) e  $\bar{R}^2_{CV}$  (0,1574) e os maiores valores de erro (21,53% para ajuste e 28,17% para validação), sendo a janela espectral menos correlacionada com os dados de campo. Isso pode estar relacionado a área de abrangência do pixel, que é menor que a área da parcela. Observou-se também que a equação obtida pela janela espectral 3 apresentou os melhores resultados.

Analisando as estatísticas obtidas para a predição da área basal do fragmento da RPPN Cafundó, os valores encontrados nesse estudo foram satisfatórios. Fazendo uso de variáveis SRTM na predição da área basal, Bispo et al. (2016) encontraram um RMSE de 3,73 m².ha $^{-1}$  (20%) e  $\bar{R}^2$  de 0,52. Para um fragmento de Mata Atlântica, localizado no estado do Rio de Janeiro, Freitas, Mello e Cruz (2005) estimaram a área basal da floresta com o uso de dados do satélite Landsat 7 ETM e encontraram um R² de 0,89. Fazendo uso de imagens multiespectrais do sensor OLI Landsat 8 para estimação da área basal de uma área de Cerrado stricto sensu foi

obtido um  $\bar{R}^2$  de 0,66 (SANTOS et al., 2017), enquanto que, utilizando dados Landsat TM, Hyyppä et al. (2000) encontraram R² igual à 0,31 e um RMSE de 47% na estimação da área basal de uma floresta boreal.

São apresentados na Figura 3 os gráficos da relação entre os valores observados e estimados e análise gráfica percentual dos resíduos para os dados de ajuste e validação cruzada utilizados na predição da área basal do fragmento da Floresta Estacional Semidecidual Submontana estudado.

Figura 3 – Áreas basais estimadas versus áreas basais observadas e a distribuição dos resíduos percentuais, obtidas por análise de regressão, para dados de ajuste e validação cruzada.



Por meio da análise dos gráficos da relação entre a área basal observada e estimada, as equações ajustadas demonstraram comportamentos semelhantes entre si, e não houve presença de tendenciosidade nos gráficos. A análise da correlação entre os dados observados e estimados, permite interpretar de maneira eficiente como os dados ajustados estão distribuídos próximos da linha de tendência, que parte do ponto de origem e apresenta inclinação de 45º (CAMPOS; LEITE, 2017).

Com o uso das estatísticas avaliadas e análises gráficas dos resíduos, observa-se que a equação referente à janela espectral 1 apresentou o pior desempenho quanto as demais. E que a equação referente a janela espectral 3 destacou na predição da área basal, apresentando maior acurácia em suas estimativas. Pode-se assim dizer então que os dados equivalentes à média de 3 x 3 pixels são mais relacionados com a área basal do fragmento de Floresta Estacional Semidecidual Submontana pertencente a RPPN Cafundó.

# 5.3. Estimação do volume de madeira com casca por meio do uso de dados do sensoriamento remoto

Em relação ao processo de seleção das variáveis explicativas para as equações que melhor realizaram a predição de volume de madeira, observou-se a presença de variáveis semelhantes às obtidas para a área basal. Segundo Kershaw Junior et al. (2016), a área basal é uma medida de fácil obtenção, e apresenta estreita relação com o volume de madeira das árvores, que é o melhor parâmetro de expressão da densidade do povoamento. Essa relação é demonstrada em alguns trabalhos, como o de Machado et al. (2008) que estudou um povoamento de *Mimosa scabrella* Benth; e Berra (2013) para um povoamento de pinus.

Na Tabela 8 são apresentadas as melhores equações para se estimar o volume de madeira, as variáveis explicativas selecionadas e os parâmetros ajustados. Todos os parâmetros foram significativos (p < 0.01; p < 0.05; p < 0.1) pelo teste de t, demonstrando que as variáveis selecionadas foram relevantes na

explicação da variação do volume de madeira da Floresta Estacional Semidecidual Submontana pertencente a RPPN Cafundó.

Tabela 8 - Equações selecionadas para a área da parcela e janelas espectrais para a estimação do volume de madeira.

Dado	s Equação Volume de madeira
A.P.	$\hat{V} = 115757,534 - 92895,666V_{16} - 59531,819V_{18} + 11631,501V_{33} - 20102,976V_{34} + 16,411V_{43} - 3,3V_{45}$
1	$\hat{V} = 121400 + 1472000V_2 - 1872000V_3 - 35730V_{19} - 175900V_{36} + 410000V_{41} - 176600V_{42} + 4,523V_{44}$
2	$\hat{V} = 1206,762 + 131,586V_{28} - 489,195V_{35} + 3,403V_{44}$
3	$\hat{V} = -48690 - 154900V_6 + 23950V_7 + 134400V_{20} + 4958V_{31} + 11240V_{39} - 43,23V_{43} + 13,16V_{44}$

Em que: Dados A.P.= área da parcela com todos os coeficientes significativos a 5% pelo teste t; Dados 1 = janela 1 com todos os coeficientes significativos a 10% pelo teste t; Dados 2 = janela 2 com todos os coeficientes significativos a 1% pelo teste t; Dados 3 = janela 3 com todos os coeficientes significativos a 5% pelo teste t;  $V_{2=}B_3$ ;

$$\begin{aligned} &\mathsf{V}_{3=} \; B_4 \; ; \; \mathsf{V}_{6=} B_7 \; ; \; \mathsf{V}_{7=} \; EVI \; ; \; \mathsf{V}_{16=} \frac{B_2}{B_6} \; ; \; \mathsf{V}_{18=} \frac{B_3}{B_2} \; ; \; \mathsf{V}_{19=} \; \frac{B_3}{B_4} \; ; \; \mathsf{V}_{20=} \; \frac{B_3}{B_5} \; ; \; \mathsf{V}_{28=} \; \frac{B_5}{B_2} \; ; \; \mathsf{V}_{31=} \frac{B_5}{B_6} \; ; \; \mathsf{V}_{33=} \\ & \frac{B_6}{B_2} \; ; \; \; \mathsf{V}_{34=} \frac{B_6}{B_3} \; ; \; \; \mathsf{V}_{35=} \frac{B_6}{B_4} \; ; \; \; \mathsf{V}_{36=} \frac{B_6}{B_5} \; ; \; \; \mathsf{V}_{39=} \frac{B_7}{B_3} \; ; \; \; \mathsf{V}_{41=} \frac{B_7}{B_5} \; ; \; \; \mathsf{V}_{42=} \frac{B_7}{B_6} \; ; \; \; \mathsf{V}_{43=} \; \; \text{declividade} \; ; \; \mathsf{V}_{44=} \; \mathsf{V}_{$$

As combinações entre as bandas espectrais, assim como para área basal, estão presentes nas quatro melhores equações ajustadas para a estimação do volume de madeira, confirmando assim, que o efeito combinado entre o uso das diferentes bandas espectrais consegue explicar melhor as características da vegetação.

Dentre os índices de vegetação testados, o EVI foi o único selecionado para a predição do volume de madeira (Tabela 8). Esse índice é relacionado com os parâmetros biofísicos da floresta e possibilita estudos da vegetação em áreas que apresentam alta concentração de biomassa (HUETE; JUSTICE; LEEUWEN, 1999). Lu et al. (2015) citam que o uso do EVI em locais com baixa cobertura florestal tende a apresentar grandes incertezas em seus dados. A seleção desse índice de vegetação como parâmetro descritivo do volume de madeira do fragmento de Floresta Estacional Semidecidual Submontana pertencente a RPPN Cafundó está relacionada a alta densidade de cobertura florestal, característica da área.

O uso do índice de vegetação EVI foi eficiente no processo de estimação do volume de madeira para duas formações florestais, apresentando capacidade

explicativa da variação de volume de 82,06% e 80,00% (PHAM; YOSHINO; NGUYEN, 2016).

Assim como para a área basal, as variáveis geomorfométricas foram selecionadas para a predição do volume de madeira da Floresta Estacional Semidecidual Submontana pertencente a RPPN Cafundó. A variável rugosidade está presente nas equações referentes as janelas espectrais 1, 2 e 3, a altitude e a declividade estão presentes nos dados referentes a área da parcela, e a declividade também está presente na equação da janela espectral 3.

Diferentes atributos do solo são utilizados para explicar o potencial produtivo de uma área (GAVA, 2005; NAVE et al., 2017), que na maioria das vezes é expresso como volume de madeira. Os solos da RPPN Cafundó foram classificados como: Planossolo em terrenos mais baixos, Cambissolo em regiões de encosta e Latossolo no topo de morro (GOMES JÚNIOR, 2017). A influência da variabilidade topográfica nos diferentes tipos de solo presentes na RPPN Cafundó justifica a seleção das variáveis explicativas altitude, declividade e rugosidade no processo de estimação do volume de madeira.

A Tabela 9 apresenta as estatísticas de avaliação e validação cruzada das equações selecionadas para a variável volume de madeira em relação às diferentes fontes de dados utilizadas.

Tabela 9 - Estatísticas de ajuste e validação cruzada referentes as equações para a predição do volume de madeira.

D - 1		Ajuste	Validação cruzada			
Dados	$\bar{R}^2$	RMSE (m²ha <sup>-1</sup> )	$\bar{R}_{cv}^2$	RMSE <sub>CV</sub> (m²ha <sup>-1</sup> )		
A. P.	0,4293	78,6361 (28,44%)	0,2408	112,1803		
				(40,57%)		
1	0,3566	81,1417 (29,35%)	0,1711	117,2425		
				(42,40%)		
2	0,4267	85,1316 (30,79%)	0,3047	101,5332		
				(36,72%)		
3	0,6039	63,6720 (23,03%)	0,5380	83,7707		
				(30,30%)		

Em que: Dados A. P.= obtidos pelo tamanho da parcela estudada; Dados 1 = provenientes da janela espectral 1; Dados 2 = provenientes da janela espectral 2; Dados 3 = provenientes da janela espectral 3;  $\bar{R}^2$  = coeficiente de determinação ajustado; RMSE = raiz do erro quadrado médio;  $\bar{R}_{CV}^2$  = coeficiente de determinação ajustado médio proveniente da validação cruzada; e RMSE<sub>cv</sub> = raiz do erro quadrado médio proveniente da validação cruzada *Leave-one-out*.

As equações apresentaram comportamentos distintos em relação a predição do volume de madeira. Verifica-se para os dados de ajuste que a equação referente a janela espectral 2 apresentou o pior desempenho, com maior RMSE (30,79%), mesmo com o  $\bar{R}^2$  (0,4267) superior ao  $\bar{R}^2$  da equação da janela espectral 1 (0,3566). Campos e Leite (2017) ressaltam que embora o coeficiente de determinação seja de uso comum, é uma estatística pobre para avaliar o processo de modelagem, sendo apenas um indicador relativo do ajustamento.

Para a técnica de validação cruzada dos dados, observou-se que as estatísticas referentes a janela espectral 2 foram superiores às da área da parcela e da janela espectral 1, contrapondo os resultados do ajuste, ressaltando assim a necessidade da realização da validação dos dados. Assim, faz-se necessário selecionar equações que apresentem medidas de exatidão satisfatórias para os dados de forma conjunta (SOUZA, 2017), ou seja, para o ajuste e validação.

Os resultados encontrados nesse trabalho para a estimação do volume de madeira para o fragmento de Floresta Estacional Semidecidual Submontana pertencente a RPPN Cafundó foram satisfatórios. Estudos utilizando dados Landsat TM na estimação do volume de madeira para diferentes formações florestais apresentaram R² de 0,31 e RMSE de 56% (HYYPPÄ et al., 2000) e RMSE de 47,6% (MÄKELÄ; PEKKARINEN, 2004). Utilizando valores da reflectância provenientes do ETM $^+$  foram obtidos ajustes de  $\bar{R}^2$  0,71 com RMSE de 74,7 m $^3$ .ha $^{-1}$  (HALL et al., 2006) e  $\bar{R}^2$  de 0,43 e RMSE igual a 97,4 m $^3$ .ha $^{-1}$  (MOHAMMADI et al., 2010).

Para uma área de Cerrado *stricto sensu* utilizando imagens multiespectrais do sensor *OLI* Landsat 8 para estimação do volume de madeira foi obtido um  $\bar{R}^2$  de 0,49 (SANTOS et al., 2017). Em estudos de povoamentos de *Eucalyptus* sp., utilizando imagens TM do Landsat 5, Berra et al. (2012) encontraram  $\bar{R}^2$  variando de 0,61 a 0,68, enquanto Barros et al. (2015) encontraram  $\bar{R}^2$  variando entre 0,12 a 0,38.

A equação referente a janela espectral 3 apresentou maior exatidão, sendo superior em todas as estatísticas analisadas, portanto, os dados espectrais referentes a janela espectral 3 (dados médios de 3 x 3 pixels) são mais relacionados com os dados de volume de madeira da Floresta Estacional Semidecidual Submontana pertencente a RPPN Cafundó. Essa janela espectral utiliza

informações dos oito vizinhos mais próximos de cada pixel central da parcela de inventário. Esses dados facilitam a obtenção de uma localização precisa do dado de campo na imagem. Resultado semelhante foi encontrado com os dados para a estimação da área basal.

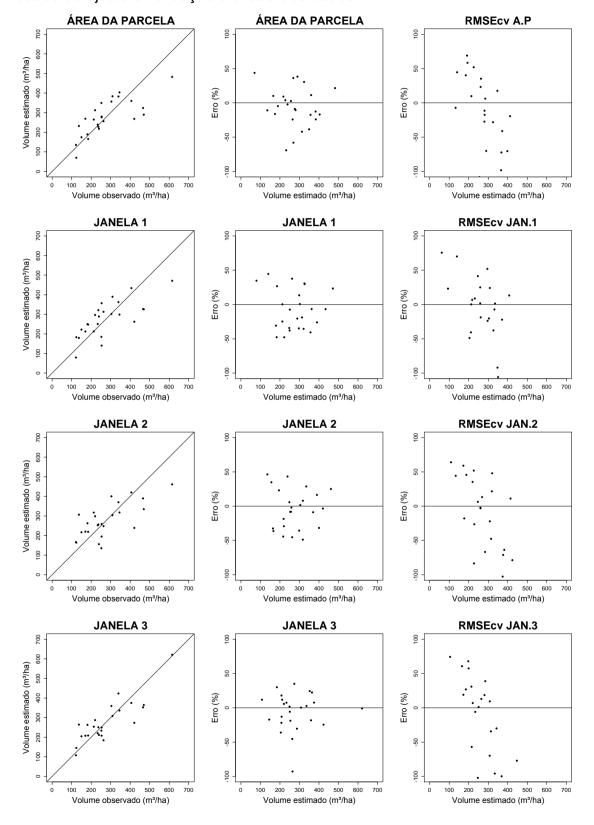
O uso de dados da janela espectral 3 x 3 pixels, ao invés de apenas um pixel, resultou em equações ajustadas com capacidade explicativa de 60% para a variação em volume de madeira e erro de 32 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>, para remanescentes de Caatinga (ALMEIDA et al., 2014).

Bispo (2012) ressaltou a importância de utilizar variáveis geomorfométricas como fonte de dados adicionais no processo de modelagem da biomassa na Amazônia Central com o uso de dados provenientes do sensoriamento remoto. Dos três modelos ajustados, foi obtido uma melhora expressiva no modelo com o uso da combinação de dados do sensor e dados provenientes do *SRTM*. O modelo com dados polarimétricos isolados obteve um  $\bar{R}^2$  de 0,35, o segundo com dados geomorfométricos isolados (elevação e declividade) resultou em um  $\bar{R}^2$  de 0,57 e o terceiro, combinando as duas fontes de dados, em um  $\bar{R}^2$  de 0,74 e erro de 33,15 t/h ou de 15,78%.

Na Figura 4 são apresentadas as análises gráficas do volume de madeira estimado versus observado e a dispersão dos resíduos para os dados de ajuste e validação cruzada para o fragmento de Floresta Estacional Semidecidual Submontana pertencente a RPPN Cafundó. É possível observar que as equações avaliadas apresentaram comportamentos semelhantes entre si, e que não houve tendenciosidade dos dados. Em relação aos gráficos dos resíduos para a validação cruzada, percebe-se que as equações ajustadas apresentaram grande dispersão residual dos dados em relação a linha de tendência.

No entanto, considerando todas as estatísticas avaliadas, a equação referente a janela espectral 3 apresentou melhor poder de predição dos dados de volume de madeira, quando comparada com as demais equações avaliadas.

Figura 4 - Volumes de madeira estimados versus volumes de madeira observados e a distribuição dos resíduos percentuais, obtidos por análise de regressão, para dados de ajuste e validação cruzada dos dados.



## 6. CONCLUSÕES

O uso de dados combinados provenientes do sensor *OLI* Landsat 8 e dados *SRTM* apresentaram resultados satisfatórios para estimação da área basal e volume de madeira do fragmento da RPPN Cafundó.

As equações ajustadas com dados médios da janela espectral de 3 x 3 pixels combinados com variáveis *SRTM* apresentaram as melhores estimativas de área basal e volume de madeira.

As variáveis explicativas selecionadas para o ajuste da equação foram diretamente relacionadas com as características geomorfométricas da área em estudo e da tipologia florestal. Deste modo, as equações ajustadas com dados combinados provenientes do satélite Landsat 8 sensor *OLI* e variáveis *SRTM* podem ser utilizadas no processo de estimação da área basal e volume de madeira em áreas que apresentem tipologia florestal semelhante à área estudada.

# **REFERÊNCIAS**

- ALBA, E. Caracterização espectral dos dosséis e estimativa de variável biofísica em plantios de *Eucalyptus grandis* e *Pinus elliottii* a partir de imagens Landsat 8/OLI. 2016. 131 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016.
- ALEXANDER, C.; KORSTJENS, A. H.; HILL, R. A. Influence of micro-topography and crown characteristics on tree height estimations in tropical forests based on LiDAR canopy height models. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, [s.l.], v. 65, p.105-113, mar. 2018.
- ALMEIDA, A. Q. de; MELLO, A. A. de; DÓRIA NETO, A. L.; FERRAZ, R. C. Relações empíricas entre características dendrométricas da Caatinga brasileira e dados TM Landsat 5. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [s.l.], v. 49, n. 4, p.306-315, abr. 2014.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. de M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, p. 711-728, 2013.
- AMARO, M. A. Quantificação do estoque volumétrico, de biomassa e de carbono em uma Floresta Estacional Semidecidual no município de Viçosa-MG. 2010. 168 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.
- AMORIM, H. B. (Coord.). Inventário das florestas nativas dos estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo. Brasília: IBDF, 1984. 204 p.
- ARAUJO, T. P. de; MELLO, F. M. de. Processamento de imagens digitais razão entre bandas. **Geociências**, São Paulo, v. 29, n. 1, p. 121-131, 2010.
- ARCGIS 10.3. **ArcGIS Help Library**. Disponível em: <a href="http://doc.arcgis.com/pt-br/arcgis-online/">http://doc.arcgis.com/pt-br/arcgis-online/</a> Acesso em: 09 jan. 2018.
- ARCHANJO, K. M. P. de A.; SILVA, G. F.; CHICHORRO, J. F.; SOARES, C. P. B. Estrutura do componente arbóreo da Reserva Particular do Patrimônio Natural Cafundó, Cachoeiro de Itapemirim, Espírito Santo, Brasil. **Floresta**, Curitiba, v.42, n.1, p.145-160, 2012.
- BARROS, B. S. X. de; GUERRA, S. P. S.; BARROS, Z. X. de; CATITA, C. M. S.; FERNANDES, J. C. C. Uso de imagens de satélite para cálculo de volume em floresta de eucalipto no município de Botucatu/SP. **Energia na Agricultura**, [s.l.], v. 30, n. 1, p.60-67, 1 abr. 2015.
- BERRA, E. F. Avaliação e comparação de imagens Liss-III/Resourcesat-1 E TM/Landsat 5 para estimar volume de madeira de um plantio de *Pinus elliottii*. 2013. 127 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013. 127 p.

- BERRA, E. F.; BRANDELERO, C.; PEREIRA, R. S.; SEBEM, E.; GOERGEN, L. C. de G.; BENEDETTI, A. C. P.; LIPPERT, D. B. Estimativa do volume total de madeira em espécies de eucalipto a partir de imagens de satélite Landsat. **Ciência Florestal,** Santa Maria, v. 22, n. 4, p.853-864, out- dez, 2012.
- BISPO, P. da C. **Dados geomorfométricos como subsídio ao apeamento da vegetação**. 2007. 120 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2007.
- BISPO, P. da C. Efeitos de geomorfometria na caracterização florísticoestrutural da floresta tropical na região de Tapajós com dados SRTM E PALSAR. 2012. 125 f. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2012.
- BISPO, P. da C.; SANTOS, J. R. dos; VALERIANO, M. de M.; GRAÇA, P. M. L. de A.; BALZTER, H.; FRANÇA, H.; BISPO, P. da C. Predictive models of primary tropical forest structure from geomorphometric variables based on SRTM in the Tapajós region, Brazilian Amazon. **Plos One**, [s.l.], v. 11, n. 4, p.1-13, 18 abr. 2016.
- BISPO, P. da C.; VALERIANO, M. de M.; KUPLICH, T. M. Variáveis geomorfométricas locais e sua relação com a vegetação da região do interflúvio Madeira-Purus (AM-RO). **Acta Amazonica**, [s.l.], v. 39, n.1, p. 81-90, 2009.
- BRASIL. Lei no 11.428, de 22 de dezembro de 2006. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 22 dez., 2006. Disponível em: <a href="http://www.planalto.gov.br/ccivil\_03/\_ato2004-2006/2006/lei/l11428.htm">http://www.planalto.gov.br/ccivil\_03/\_ato2004-2006/2006/lei/l11428.htm</a>>. Acesso em: 16 dez. 2017.
- BRASIL. Lei no. 12.651, de 25 de maio de 2012. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 25 maio, 2012. Disponível em: <a href="http://www.botuvera.sc.gov.br/wp-content/uploads/2014/09/Lei-12651-2012-C%C3%B3digo-Florestal.pdf">http://www.botuvera.sc.gov.br/wp-content/uploads/2014/09/Lei-12651-2012-C%C3%B3digo-Florestal.pdf</a>>. Acesso em: 16 dez. 2017.
- CALEGARI, M. R.; MADELLA, M.; BRUSTOLIN, L. T.; PESSENDA, L. C. R.; BUSO JUNIOR, A. A.; FRANCISQUINI, M. I.; BENDASSOLLI, J. A.; TORRADO, P. V. Potential of soil phytoliths, organic matter and carbon isotopes for small-scale differentiation of tropical rainforest vegetation: A pilot study from the campos nativos of the Atlantic Forest in Espírito Santo State (Brazil). **Quaternary International**, [s.l.], v. 437, p.156-164, maio 2017.
- CAMPANILI, M.; PROCHNOW, M. **Mata atlântica uma rede pela floresta**. Brasília: RMA, 2006. 332 p.
- CAMPOS, J. C. C; LEITE, H. G. **Mensuração Florestal: perguntas e respostas.** 5. ed. Viçosa: Ufv, 2017. 636 p.
- CARVALHO JÚNIOR, O. A. de; COELHO, M. A. N.; MARTINS, É. de S.; GOMES, R. A. T.; COUTO JUNIOR, A. F.; OLIVEIRA, S. N. de; SANTANA, O. A. Mapeamento da vegetação na floresta atlântica usando o classificador de árvore de decisão para integrar dados de sensoriamento remoto e modelo digital de terreno. **Revista Brasileira de Geofísica**, [S.I.], v. 26, n. 3, p. 331- 345, 2008.

- CASSOL, H. L. G. Estimativa de biomassa e estoque de carbono em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista com uso de dados ópticos de sensores remotos. 2013. 143 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2013.
- CHAVEZ, J. P.S. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. **Remote Sensing of Environment**, New York, v.24, p. 459-479, 1988.
- CHU, T.; GUO, X.; TAKEDA, K. Remote sensing approach to detect post-fire vegetation regrowth in Siberian boreal larch forest. **Ecological Indicators,** [s.l.], v. 62, p.32-46, mar. 2016.
- CONDÉS, S.; MCROBERTS, R. E. Updating national forest inventory estimates of growing stock volume using hybrid inference. **Forest Ecology and Management**, [s.l.], v. 400, p.48-57, set. 2017.
- DELARMELINA, W. M. Fertilidade, estoque de carbono orgânico do solo e serapilheira em uma Floresta Estacional Semidecidual Submontana. 2015. 123 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2015.
- DEPARTMENT OF THE INTERIOR UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY-USGS. Landsat 8 (L8) Data Users Handbook. Sioux Falls, South Dakota: [s.ed.], 2016. 98 p. Disponível em:
- <a href="https://landsat.usgs.gov/sites/default/files/documents/Landsat8DataUsersHandbook">https://landsat.usgs.gov/sites/default/files/documents/Landsat8DataUsersHandbook</a>.pdf>. Acesso em: 30 dez. 2017.
- DJOMO, A. N.; CHIMI, C. D.Tree allometric equations for estimation of above, below and total biomass in a tropical moist forest: Case study with application to remote sensing. **Forest Ecology and Management**, [s.l.], v. 391, p.184-193, maio 2017.
- EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solo. Brasília, 1999. 42p.
- EPIPHANIO, J. C. N.; GLERIANI, J. M.; FORMAGGIO, A. R.; RUDORFF, B. F. T. Índices de vegetação no sensoriamento remoto da cultura do feijão. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 31, n. 6, p. 445-454, jun. 1996.
- FERRAZ, A. S. Estimação dos estoques de biomassa e carbono na parte aérea de um fragmento de floresta estacional semidecidual por meio de imagens de satélite IKONOS II. 2012. 103 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.
- FINGER, C. A. G. **Fundamentos de biometria florestal.** Santa Maria: UFSM/CEPEF/FATEC, 1992. 269 p.
- FONSECA, M.S.; SILVA JÚNIOR, M.C. Fitossociologia e similaridade florística entre trechos de Cerrado sentido restrito em interflúvio e em vale no Jardim Botânico de Brasília, DF. **Acta Botanica Brasilica**, v. 18, n.1, p. 19-29, June 2004.
- FRANCEZ, L. M. de B.; SOUZA, D. V.; TAKEHANA, C. L. I.; BARROS, P. L. C. de. Manual para análise de inventário florestal e equação de volume em projetos

- **de Manejo Florestal Sustentável PMFS.** Belém: Secretaria de Estado de Meio Ambiente, 2010. 66 p.
- FRAZIER, R. J.; COOPS, N. C.; WULDE, M. A.; KENNEDY, R. Characterization of aboveground biomass in an unmanaged boreal forest using Landsat temporal segmentation metrics. **Isprs Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, [s.l.], v. 92, p.137-146, jun. 2014.
- FREITAS, S. R.; MELLO, M. C.S.; CRUZ, C. B. M. Relationships between forest structure and vegetation indices in Atlantic Rainforest. **Forest Ecology and Management**, [s.l.], v. 218, n. 1-3, p.353-362, out. 2005.
- GAVA, J. L. Relações entre atributos do solo e qualidade da madeira de clone de Eucalyptus grandis para produção de celulose. 2005. 54 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.
- GOMES JÚNIOR, D. **Dinâmica da serapilheira em fragmento de Floresta Atlântica, ES**. 2017. 100 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2017.
- GUEDES, M. L. S.; BATISTA, M. dos A. RAMALHO, M.; FREITAS, H. M. de B.; SILVA, E. M. da. Breve incursão sobre a biodiversidade da Mata Atlântica. In: FRANKE, C. R.; ROCHA, P. L. B da; KLEIN, W.; GOMES, S. L (Orgs). **Mata atlântica e biodiversidade**. Salvador. 2005. p. 39- 92.
- HALL, R. J.; SKAKUN, R. S.; ARSENAULT, E. J.; CASO, B. S. Modeling forest stand structure attributes using Landsat ETM+ data: Application to mapping of aboveground biomass and stand volume. **Forest Ecology and Management**, [s.l.], v. 225, n. 1-3, p.378-390, abr. 2006.
- HANI, A. F. M.; SATHYAMOORTHY, D.; ASIRVADAM, V. S. Computing surface roughness of individual cells of digital elevation models via multiscale analysis. **Computers & Geosciences**, [s.l.], v. 43, p.137-146, jun. 2012.
- HOLLAUS, M.; AUBRECHT, C.; HÖFLE, B.; STEINNOCHER, K.; WAGNER, W. Roughness Mapping on Various Vertical Scales Based on Full-Waveform Airborne Laser Scanning Data. **Remote Sensing**, [s.l.], v. 3, n. 12, p.503-523, 4 mar. 2011.
- HOLSCHUH, L. de M. **Contribuições para o aprendizado por busca de projeção.** 2008. 92 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.
- HUETE, A. R. A Soil-adjusted Vegetation Index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, New York, vol. 25. [s.n], p. 295–309, 1988.
- HUETE, A. R.; JUSTICE, C.; LEEUWEN, W. V. **MODIS Vegetation Index (MOD 13) Algorithm Theoretical Basis Document**. Greenbelt: NASA Goddard Space Flight Center. 1999. 129 p.
- HYYPPÄ, J.; HYYPPÄ, H.; INKINEN, M.; ENGDAHL, M.; LINKO, S.; ZHUC, Y.-H. Accuracy comparison of various remote sensing data sources in the retrieval of forest

- stand attributes. Forest Ecology and Management, [s.l.], v. 128, n. 1-2, p.109-120, mar. 2000.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA IBGE. **Projeto RADAM**. Rio de Janeiro, RJ: 1987. 540 p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA IBGE. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. 2 ed., Rio de Janeiro, 2012. 271 p.
- INSTITUTO CAPIXABA DE PESQUISA, ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL INCAPER. 2017. Disponível em:
- <a href="http://hidrometeorologia.incaper.es.gov.br/?pagina=atlas\_pluvio">http://hidrometeorologia.incaper.es.gov.br/?pagina=atlas\_pluvio</a> Acesso em: 26 abr. 2017.
- JOLY, C. A.; METZGER, J. P.; TABARELLI, M. Experiences from the Brazilian Atlantic Forest: ecological findings and conservation initiatives. **New Phytologist**, [s.l.], v. 204, n. 3, p.459-473, 10 set. 2014.
- KERSHAW JUNIOR, J. A.; DUCEY, M. J.; BEERS, T. W.; HUSCH, B. **Forest mensuration**. 5. ed. New Jersey, Hoboken: John Wiley & Sons, Inc, 2016. 613 p.
- KÖPPEN, W. Das geographische System der Klimate. In: KÖPPEN, W., GEIGER, R. (Eds.): **Handbuch der Klimatologie**. Berlin: Gebrüder Borntraeger, 1936. p.1–44.
- LEAL, F. A. **Técnicas de sensoriamento remoto e geoestatística aplicadas em um povoamento de** *Eucalyptus urophylla S. T. Blake* para estimativa de **volume.** 2013. 96 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília, Brasília, 2013.
- LIU, W. T. H. **Aplicações de sensoriamento remoto.** 2. ed. Campo Grande: Uniderp, 2006. 908 p.
- LOCK, R. E. N.; KIRCHNER, F. F. Classificação de imagens multiespectrais de landsat TM e feições de textura: mapeamento da cobertura da terra. **Floresta**, v.27, n.1, p.41-58, 1997.
- LOVELAND, T. R.; DWYER, J. L. Landsat: Building a strong future. **Remote Sensing of Environment,** [s.l.], v. 122, p.22-29, jul. 2012.
- LOVELAND, T. R.; IRONS, J. R. Landsat 8: The plans, the reality, and the legacy. **Remote Sensing of Environment**, [s.l.], v. 185, p.1-6, nov. 2016.
- LU, D.; MAUSEL, P.; BRONDÍZIO, E.; MORAN, E. Relationships between forest stand parameters and Landsat TM spectral responses in the Brazilian Amazon Basin. **Forest Ecology and Management**, [s.l.], v. 198, n. 1-3, p.149-167, ago. 2004.
- LU, L.; KUENZER, C.; WANG, C.; GUO, H.; LI, Q. Evaluation of three MODIS-derived vegetation index time series for dryland vegetation dynamics monitoring. **Remote Sensing**, [s.l.], v. 7, n. 6, p.7597-7614, 9 jun. 2015.

- LUMLEY, T. **Regression Subset Selection**, [s.ed.], [s.l.], 10 jan. 2017. Disponível em: <a href="https://cran.r-project.org/web/packages/leaps/leaps.pdf">https://cran.r-project.org/web/packages/leaps/leaps.pdf</a>>. Acesso em: 02 dez. 2017.
- MACHADO, S. do A.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria.** 2. ed. Guarapuava: Unicentro, 2009. 316 p.
- MACHADO, S. A.; AGUIAR, L. P.; FIGUEIREDO FILHO, A.; KOEHLER, H. S. Modelagem do Volume do Povoamento para *Mimosa scabrela* Benth, na região Metropolitana de Curitiba. **Revista Árvore**, v. 32 n.3, p. 465-478, 2008.
- MÄKELÄ, H.; PEKKARINEN, A. Estimation of forest stand volumes by Landsat TM imagery and stand-level field-inventory data. **Forest Ecology and Management**, [s.l.], v. 196, n. 2-3, p.245-255, jul. 2004.
- MALLMANN, C. L.; PRADO, D. de A.; PEREIRA FILHO, W. Índice de vegetação por diferença normalizada para caracterização da dinâmica florestal no parque estadual Quarta Colônia, estado do Rio Grande do Sul Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física,** Recife, v. 8, n. 05, p. 1454 1469, dez. 2015.
- MCROBERTS, R; TOMPPO, e. Remote sensing support for national forest inventories. **Remote Sensing of Environment**, [s.l.], v. 110, n. 4, p.412-419, out. 2007.
- MELO, A. T. de O.; COELHO, A. S. G.; PEREIRA, M. F.; BLANCO, A.J.V.; FRANCESCHINELLI, E. V. Genética da conservação de *Cabralea canjerana* (Vell.) Mart. (Meliaceae) em fragmentos florestais de Mata Atlântica na APA Fernão Dias. **Revista Árvore**, [s.l.], v. 39, n. 2, p. 365-374, mar. abr. 2015.
- MIGUEL, E. P.; REZENDE, A. V.; LEAL, F. A.; MATRICARDI, E. A.T.; VALE, A. T. do; PEREIRA, R. S. Redes neurais artificiais para a modelagem do volume de madeira e biomassa do cerradão com dados de satélite. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [s.l.], v. 50, n. 9, p.829-839, set. 2015.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE MMA. Florestas do Brasil em resumo-2010: dados de 2005-2010. Brasília: SFB, 2010, 152 p.
- MOHAMMADI, J.; JOIBARY, S. S.; YAGHMAEE, F.; MAHINY, A. S. Modelling forest stand volume and tree density using Landsat ETM+ data. **International Journal of Remote Sensing**, [s.l.], v. 31, n. 11, p.2959-2975, 10 jun. 2010.
- NAVE, L. E.; GOUGH, C. M.; PERRY, C. H.; HOFMEISTER, K. L.; MOINE, J. M. Le; DOMKE, G. M.; SWANSTON, C. W.; NADELHOFFER, K. J. Physiographic factors underlie rates of biomass production during succession in Great Lakes forest landscapes. **Forest Ecology and Management**, [s.l.], v. 397, p.157-173, ago. 2017.
- NEIGH, C.S.R.; MASEK, J.G.; BOURGET, P.; RISHMAWI, K.; ZHAO, F.; HUANG, C.; COOK, B. D.; NELSON, R. F. Regional rates of young US forest growth estimated from annual Landsat disturbance history and IKONOS stereo imagery. **Remote Sensing of Environment,** [s.l.], v. 173, p.282-293, fev. 2016.

- NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher. 2010. 388p.
- PHAM, T. T.; YOSHINO, K.; NGUYEN, T. M. Q. Correlation analysis between Enhance Vegetation Index and Wood Volume in Thua Thien Hue Province, Vietnam. **Tropics**, [s.l.], v. 24, n. 4, p.181-186, 2016.
- PFLUGMACHER, D.; COHEN, W. B.; KENNEDY, R. E. Using Landsat-derived disturbance history (1972–2010) to predict current forest structure. **Remote Sensing of Environment**, [s.l.], v. 122, p.146-165, jul. 2012.
- PINTO, L. P; BEDÊ, L.; PAESE, A.; FONSECA, M.; PAGLIA, A.; LAMAS, I. Mata Atlântica Brasileira: os desafios para a conservação da biodiversidade de um hotspot mundial. In: ROCHA, C. F. D.; BERGALLO, H. G.; VAN SLUYS, M.; ALVES, M. A. S. (Orgs). **Biologia da conservação: essências**. São Carlos: RiMa, 2006. p.91-118.
- POWELL, S. L.; COHEN, W. B.; HEALEY, S.P.; KENNEDY, R. E.; MOISEN, G.G.; PIERCE, K. B.; OHMANN, J. L. Quantification of live aboveground forest biomass dynamics with Landsat time-series and field inventory data: A comparison of empirical modeling approaches. **Remote Sensing of Environment**, [s.l.], v. 114, n. 5, p.1053-1068, maio 2010.
- R CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing, version 3.3.3**. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2017. Disponível em: <a href="https://www.r-project.org/">https://www.r-project.org/</a>>. Acesso em: 20 fev. 2017.
- RIBEIRO, M. C.; METZGER, J. P.; MARTENSEN, A. C.; PONZONI, F. J.; HIROTA, M. M. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological Conservation**, [s.l.], v. 142, n. 6, p.1141-1153, jun. 2009.
- ROSENDO, J. dos 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 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2005.
- ROSENQVIST, A.; MILNE, A.; LUCAS, R.; IMHOFF, M.; DOBSON, C. A review of remote sensing technology in support of the Kyoto protocol. **Environmental Science and Policy**, [s. l.], v.6, n. 5, p.441–455, out. 2003. Disponível em: <a href="http://ac.els-cdn.com/S1462901103000704/1-s2.0-S1462901103000704-main.pdf?\_tid=17206cdc-040b-11e7-8d12-00000aacb361&acdnat=1488983313\_31f64a160090089867a49e5effd7ba08>. Acessado em: 08 mar. 2017.
- SAMPAIO, T. V. M.; AUGUSTIN, C. H. R. R. Índice de concentração da rugosidade: uma nova proposta metodológica para o mapeamento e quantificação da dissecação do relevo como subsídio a cartografia geomorfológica. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 15, p. 47–60, 2014.
- SANQUETTA, C. R.; WATZLAWICK, L. F.; CÔRTE, A. P. D.; FERNANDES, L. de A. V. **Inventários Florestais: planejamento e execução.** Curitiba: Multi-graphic, 2006. 271 p.

- SANTOS, M. M.; MACHADO, I. E. S.; CARVALHO, E. V.; VIOLA, M. R.; GIONGO, M. Estimativa de parâmetros florestais em área de Cerrado a partir de imagens do sensor Oli Landsat 8. **Floresta**, Curitiba, v. 47, n.1, p. 75-83, mar. 2017.
- SCOLFORO, J. R. S.; MELLO, J. M. de. **Inventário florestal**. Lavras: FAEPE, 2006. 561 p.
- SCOLFORO, J. R. S.; THIERSCH, C. R. **Biometria Florestal: Medição, volumetria e gravimetria.** Lavras: Faepe, 2004. 285 p.
- SFB SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO. Brasília, 2017. Disponível em: <a href="http://www.florestal.gov.br/ultimas-noticias">http://www.florestal.gov.br/ultimas-noticias</a>>. Acesso em: 16 dez. 2017.
- SILVA, C. A.; KLAUBERG, C.; HUDAK, A. T.; VIERLING, L. A.; LIESENBERG, V.; CARVALHO, S. P. C. e; RODRIGUEZ, L. C. E. A principal component approach for predicting the stem volume in Eucalyptus plantations in Brazil using airborne LiDAR data. **Forestry**, [s.l.], v. 89, n. 4, p.422-433, 10 mar. 2016.
- SILVA, E. N. da; SANTANA, A. C. de. Modelos de regressão para estimação do volume de árvores comerciais, em florestas de Paragominas. **Revista Ceres**, [s.l.], v. 61, n. 5, p.631-636, out. 2014.
- SILVA, I. N. da; SPATTI, D. H.; FLAUZINO, R. A. Redes neurais artificiais para engenharia e ciências aplicadas. São Paulo: Artliber, 2010. 399 p.
- SOARES, C. P. B.; PAULA NETO, F. de; SOUZA, A. L. de. **Dendrometria e inventário florestal.** 2. ed. Viçosa: UFV, 2011. 272 p.
- SOUZA, A. L. de; BOINA, A.; SOARES, C. P. B.; VITAL, B. R.; GASPAR, R. de O.; LANA, J. M. de. Estrutura fitossociológica, estoques de volume, biomassa, carbono e dióxido de carbono em Floresta Estacional Semidecidual. **Árvore**, Viçosa, v. 36, n. 1, p. 169-179, 2012.
- SOUZA, C.C. de; MOREIRA, A. de A.; SCHIMITH, R.S.; BRANDÃO, P.C.; SILVA, E. Técnicas de sensoriamento remoto como subsídios aos estudos de florestas implantadas no Brasil Uma revisão bibliográfica. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 17, n. 4, p. 409-417, out-dez, 2007.
- SOUZA, L. A. de. Estimação de altura, volume e afilamento de árvores de eucalipto utilizando máquina de vetor de suporte. 2017. 87 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2017.
- THIAM, A.; EASTMAN, J. R. Vegetation indices. In: EASTMAN, J. R (Org.). **IDRISI Kilimanjaro: guide to GIS and image processing**. Worcester: Clark University, 2003. p. 233-245. Disponível em:
- <a href="https://www.mtholyoke.edu/courses/tmillett/course/geog307/files/Kilimanjaro%20Manual.pdf">https://www.mtholyoke.edu/courses/tmillett/course/geog307/files/Kilimanjaro%20Manual.pdf</a>. Acessado em: 17 mar. 2017.
- VALERIANO, M. M. **Topodata: guia para utilização de dados geomorfológicos locais.** São José dos Campos: INPE: Coordenação de Ensino, Documentação e Programas Especiais (INPE-15318-RPE/818), 2008, 72 p.

VALERIANO, M. M.; ALBUQUERQUE, P. C. G. **Topodata: processamento dos dados SRTM.** São Jose dos Campos: INPE: Coordenação de Ensino, Documentação e Programas Especiais (INPE-16702-RPQ/854), 2010. 79p.

WAGNER, A. P. L. Dinâmica temporal de índices de vegetação no Pampa do Rio Grande do Sul e Uruguai e suas relações com os elementos meteorológicos regionais. 2013. 146 f. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2013.

WATZLAWICK, L.F.; KIRCHNER, F.F.; SANQUETTA, C.R. Estimativa de biomassa e carbono em floresta com araucária utilizando imagens do satélite IKONOS II. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 19, n. 2, p.169-181, 2009. Disponível em: <a href="https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/408/280">https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/408/280</a>. Acesso em: 08 mar. 2017.

WOODCOCK C. E.; ALLEN, R.; ANDERSON, M.; BELWARD, A.; BINDSCHADLER, R.; COHEN, W. B.; GAO, F.; GOWARD, S. N.; HELDER, D.; HELMER, E.; NEMANI, R.; OREAPOULOS, L.; SCHOTT, J.; THENKABAIL, P. S.; VERMOTE, E. F.; VOGELMANN, J.; WULDER, M. A.; WYNNE, R. Free access to Landsat imagery. **Science**, [s.l], v.320, p. 1011, 2008. Disponível em: <a href="http://science.sciencemag.org/content/320/5879/1011.1/tab-pdf">http://science.sciencemag.org/content/320/5879/1011.1/tab-pdf</a>>. Acesso em: 30 dez. 2017.

WULDER, M. A.; WHITE, J. C.; LOVELAND, T. R.; WOODCOCK, C. E.; BELWARD, A. S.; COHEN, W. B.; FOSNIGHT, E. A.; SHAW, J.; MASEK, J. G.; ROY, D. P. The global Landsat archive: Status, consolidation, and direction. **Remote Sensing of Environment**, [s.l.], v. 185, p.271-283, nov. 2016.

ZALD, H.S.; WULDER, M. A.; WHITE, J. C.; HILKER, T.; HERMOSILLA, T.; HOBART, G.W.; COOPS, N. C. Integrating Landsat pixel composites and change metrics with lidar plots to predictively map forest structure and aboveground biomass in Saskatchewan, Canada. **Remote Sensing of Environment**, [s.l.], v. 176, p.188-201, abr. 2016.

## **APÊNDICES**

Apêndice 1 - Estrutura horizontal e parâmetros fitossociológicos para a área de amostragem do fragmento de Floresta Estacional Semidecidual Submontana, localizado na RPPN Cafundó, município de Cachoeiro do Itapemirim, ES.

Em que N=número de indivíduos; U=número total de unidades amostrais; DA=densidade absoluta; DR=densidade relativa; FA=frequência absoluta; FR=frequência relativa; DoA=dominância absoluta; DoR=dominância relativa; IVC= índice de valor de cobertura e IVC (%)=índice de valor de cobertura relativo; IVI= índice de valor de importância e IVI (%)=índice de valor de importância relativo.

Nome Científico	N	U	DA	DR	FA	FR	DoA	DoR	IVC	IVC (%)	IVI	IVI (%)
A. concinnum	497	25	198,8	10,9	100	2,42	3	9,22	20,14	10,07	22,567	7,52
P. contorta	173	11	69,2	3,8	44	1,07	2,5	7,79	11,6	5,8	12,663	4,22
N. alba	337	17	134,8	7,41	68	1,65	0,9	2,82	10,23	5,11	11,875	3,96
A. graveolens	171	23	68,4	3,76	92	2,23	1,1	3,29	7,046	3,52	9,277	3,09
G. marginata	140	21	56	3,08	84	2,04	1,1	3,37	6,452	3,23	8,489	2,83
G. integrifolia	50	11	20	1,1	44	1,07	2	6,06	7,161	3,58	8,228	2,74
S. verticillata	182	16	72,8	4	64	1,55	0,5	1,45	5,448	2,72	6,999	2,33
A. peregrina	32	14	12,8	0,7	56	1,36	1,5	4,68	5,38	2,69	6,738	2,25
A. estrellensis	138	20	55,2	3,03	80	1,94	0,2	0,53	3,564	1,78	5,504	1,83
Pachystroma sp.	109	14	43,6	2,4	56	1,36	0,5	1,44	3,839	1,92	5,196	1,73
T. intermedia	42	19	16,8	0,92	76	1,84	0,7	2,24	3,167	1,58	5,01	1,67
T. silvatica	79	18	31,6	1,74	72	1,75	0,2	0,77	2,509	1,25	4,255	1,42
Machaerium sp.1	66	14	26,4	1,45	56	1,36	0,4	1,19	2,641	1,32	3,999	1,33
R. brasiliensis	41	11	16,4	0,9	44	1,07	0,7	2,02	2,926	1,46	3,993	1,33
Casearia sp. nov.1	107	10	42,8	2,35	40	0,97	0,2	0,52	2,868	1,43	3,838	1,28
C. lucentifolium	65	17	26	1,43	68	1,65	0,2	0,61	2,04	1,02	3,688	1,23
E. grandiflora	59	16	23,6	1,3	64	1,55	0,2	0,48	1,781	0,89	3,333	1,11
G. viburnoides	30	7	12	0,66	28	0,68	0,6	1,94	2,599	1,3	3,278	1,09
G. opposita	37	17	14,8	0,81	68	1,65	0,2	0,72	1,532	0,77	3,181	1,06
P. peroba	14	7	5,6	0,31	28	0,68	0,7	2,16	2,471	1,24	3,15	1,05
Alseis sp.1	46	15	18,4	1,01	60	1,45	0,2	0,65	1,657	0,83	3,112	1,04
T. roseo-alba	54	12	21,6	1,19	48	1,16	0,2	0,72	1,907	0,95	3,071	1,02
T. casaretti	54	13	21,6	1,19	52	1,26	0,1	0,46	1,647	0,82	2,908	0,97
T. hirta	36	8	14,4	0,79	32	0,78	0,4	1,18	1,973	0,99	2,749	0,92
P. frutescens	48	8	19,2	1,05	32	0,78	0,3	0,89	1,944	0,97	2,72	0,91
C. lucens	13	9	5,2	0,29	36	0,87	0,5	1,48	1,769	0,88	2,642	0,88
Zanthoxylum sp.	23	14	9,2	0,51	56	1,36	0,2	0,77	1,279	0,64	2,637	0,88
T. arianeae	42	12	16,8	0,92	48	1,16	0,2	0,5	1,426	0,71	2,589	0,86
P. brasiliensis	32	13	12,8	0,7	52	1,26	0,2	0,53	1,23	0,62	2,491	0,83
G. noxia	35	14	14	0,77	56	1,36	0,1	0,33	1,102	0,55	2,46	0,82
C. legalis	19	13	7,6	0,42	52	1,26	0,2	0,71	1,126	0,56	2,386	0,8
P. riedelii	8	4	3,2	0,18	16	0,39	0,6	1,8	1,977	0,99	2,365	0,79
E. tinguyensis	29	15	11,6	0,64	60	1,45	0	0,14	0,777	0,39	2,232	0,74
											Co	ntinua

Nome Científico	N	U	DA	DR	FA	FR	DoA	DoR	IVC	IVC (%)	IVI	IVI (%)
C. brasiliensis	36	10	14,4	0,79	40	0,97	0,1	0,38	1,169	0,58	2,139	0,71
A. lentiscifolium	31	10	12,4	0,68	40	0,97	0,2	0,48	1,158	0,58	2,128	0,71
P. pterosperma	15	10	6	0,33	40	0,97	0,2	0,58	0,906	0,45	1,876	0,63
Z. glabra	21	10	8,4	0,46	40	0,97	0,1	0,28	0,743	0,37	1,713	0,57
O. nítida	19	10	7,6	0,42	40	0,97	0,1	0,29	0,708	0,35	1,678	0,56
Chrysophyllum sp. 1	15	9	6	0,33	36	0,87	0,2	0,47	0,802	0,4	1,675	0,56
R. armata	24	9	9,6	0,53	36	0,87	0,1	0,23	0,758	0,38	1,631	0,54
A. floribunda	20	4	8	0,44	16	0,39	0,3	0,78	1,224	0,61	1,612	0,54
C. asterotricha	13	11	5,2	0,29	44	1,07	0,1	0,23	0,52	0,26	1,587	0,53
M. fulvovenosum	23	6	9,2	0,51	24	0,58	0,2	0,49	0,991	0,5	1,573	0,52
T. spiritusanctense	14	5	5,6	0,31	20	0,48	0,2	0,73	1,035	0,52	1,52	0,51
A. ilustre	8	7	3,2	0,18	28	0,68	0,2	0,5	0,68	0,34	1,359	0,45
R. gardneriana	12	6	4,8	0,26	24	0,58	0,2	0,47	0,736	0,37	1,318	0,44
Leguminoseae 2	26	6	10,4	0,57	24	0,58	0	0,14	0,714	0,36	1,296	0,43
Chrysobalanaceae 1	5	5	2	0,11	20	0,48	0,2	0,64	0,752	0,38	1,237	0,41
M. peruiferum	11	4	4,4	0,24	16	0,39	0,2	0,59	0,836	0,42	1,224	0,41
R. bahiensis	17	5	6,8	0,37	20	0,48	0,1	0,34	0,714	0,36	1,199	0,4
Sloanea sp.1	15	5	6	0,33	20	0,48	0,1	0,36	0,691	0,35	1,176	0,39
P. involucrata	16	7	6,4	0,35	28	0,68	0	0,13	0,486	0,24	1,165	0,39
Euphorbiaceae 6	6	5	2,4	0,13	20	0,48	0,2	0,54	0,676	0,34	1,161	0,39
M. crassipedicellata	3	1	1,2	0,07	4	0,1	0,3	0,98	1,051	0,53	1,148	0,38
M. kuhlmannii	11	5	4,4	0,24	20	0,48	0,1	0,41	0,652	0,33	1,137	0,38
M. cuneata	16	7	6,4	0,35	28	0,68	0	0,09	0,446	0,22	1,125	0,38
Z. glaziovii	9	7	3,6	0,2	28	0,68	0,1	0,2	0,396	0,2	1,075	0,36
L. mediterrânea	12	6	4,8	0,26	24	0,58	0,1	0,22	0,486	0,24	1,068	0,36
T. lepidota	12	7	4,8	0,26	28	0,68	0	0,12	0,386	0,19	1,065	0,35
C. oligandrus	8	5	3,2	0,18	20	0,48	0,1	0,4	0,58	0,29	1,065	0,35
Euphorbiaceae 1	28	3	11,2	0,62	12	0,29	0	0,14	0,76	0,38	1,051	0,35
M. cestrifolia	12	7	4,8	0,26	28	0,68	0	0,06	0,319	0,16	0,998	0,33
C. guazumifolia	9	7	3,6	0,2	28	0,68	0	0,11	0,307	0,15	0,986	0,33
Myrsine sp.1	6	5	2,4	0,13	20	0,48	0,1	0,35	0,484	0,24	0,969	0,32
A. limae	7	4	2,8	0,15	16	0,39	0,1	0,41	0,561	0,28	0,949	0,32
T. pallens	12	6	4,8	0,26	24	0,58	0	0,1	0,367	0,18	0,949	0,32
T. heptaphylla	12	6	4,8	0,26	24	0,58	0	0,09	0,357	0,18	0,939	0,31
A. polycephala	7	6	2,8	0,15	24	0,58	0,1	0,16	0,316	0,16	0,898	0,3
E. venusta	10	6	4	0,22	24	0,58	0	0,09	0,312	0,16	0,894	0,3
L. cultratus	10	5	4	0,22	20	0,48	0	0,13	0,345	0,17	0,83	0,28
P. brasiliensis	9	6	3,6	0,2	24	0,58	0	0,05	0,245	0,12	0,827	0,28
C. warmingii	11	5	4,4	0,24	20	0,48	0	0,09	0,334	0,17	0,819	0,27
Campomanesia sp1	7	4	2,8	0,15	16	0,39	0,1	0,27	0,423	0,21	0,811	0,27
L. lúrida	5	4	2	0,11	16	0,39	0,1	0,31	0,419	0,21	0,807	0,27
C. pubescens	7	6	2,8	0,15	24	0,58	0	0,07	0,22	0,11	0,802	0,27
O. brasiliensis	5	5	2	0,11	20	0,48	0,1	0,18	0,294	0,15	0,779	0,26
E. platysema	6	6	2,4	0,13	24	0,58	0	0,05	0,178	0,09	0,76	0,25
											Co	ntinua

Nome Científico	N	U	DA	DR	FA	FR	DoA	DoR	IVC	IVC (%)	IVI	IVI (%)
S. guilleminiana	6	6	2,4	0,13	24	0,58	0	0,04	0,172	0,09	0,754	0,25
E. prasina	10	5	4	0,22	20	0,48	0	0,05	0,268	0,13	0,753	0,25
Sapotaceae 3	12	4	4,8	0,26	16	0,39	0	0,08	0,345	0,17	0,733	0,24
D. longeracemosa	11	3	4,4	0,24	12	0,29	0,1	0,19	0,433	0,22	0,724	0,24
C. lucida	6	5	2,4	0,13	20	0,48	0	0,06	0,193	0,1	0,678	0,23
Ficus sp. 2	6	5	2,4	0,13	20	0,48	0	0,05	0,182	0,09	0,667	0,22
L. kunthiana	6	5	2,4	0,13	20	0,48	0	0,05	0,18	0,09	0,665	0,22
A. glabra	6	5	2,4	0,13	20	0,48	0	0,04	0,172	0,09	0,657	0,22
P. lactescens	6	5	2,4	0,13	20	0,48	0	0,03	0,163	0,08	0,648	0,22
Trichilia sp. 2	6	5	2,4	0,13	20	0,48	0	0,03	0,162	0,08	0,647	0,22
Q. penduliflora	6	5	2,4	0,13	20	0,48	0	0,03	0,157	0,08	0,642	0,21
S. venulosa	4	3	1,6	0,09	12	0,29	0,1	0,26	0,347	0,17	0,638	0,21
L. pisonis	2	2	0,8	0,04	8	0,19	0,1	0,38	0,424	0,21	0,618	0,21
P. heptaphyllum	6	4	2,4	0,13	16	0,39	0	0,1	0,23	0,12	0,618	0,21
O. arbórea	2	2	0,8	0,04	8	0,19	0,1	0,36	0,408	0,2	0,602	0,2
D. flagellaris	7	4	2,8	0,15	16	0,39	0	0,04	0,191	0,1	0,579	0,19
Picramnia sp.	6	4	2,4	0,13	16	0,39	0	0,04	0,17	0,09	0,558	0,19
P. falcata	5	3	2	0,11	12	0,29	0	0,15	0,262	0,13	0,553	0,18
A. glomerosa	5	4	2	0,11	16	0,39	0	0,05	0,163	0,08	0,551	0,18
T. quadrijuga	10	2	4	0,22	8	0,19	0	0,13	0,353	0,18	0,547	0,18
N. oblongifolia	4	4	1,6	0,09	16	0,39	0	0,05	0,142	0,07	0,53	0,18
M. salzmannii	2	1	0,8	0,04	4	0,1	0,1	0,37	0,415	0,21	0,512	0,17
Sapotaceae 1	8	3	3,2	0,18	12	0,29	0	0,04	0,219	0,11	0,51	0,17
C. rugosa	4	4	1,6	0,09	16	0,39	0	0,03	0,119	0,06	0,507	0,17
T. kuhlmannii	3	3	1,2	0,07	12	0,29	0	0,13	0,195	0,1	0,486	0,16
C. rubricaulis	4	3	1,6	0,09	12	0,29	0	0,11	0,194	0,1	0,485	0,16
B. pera	5	3	2	0,11	12	0,29	0	0,08	0,192	0,1	0,483	0,16
A. polyneuron	3	3	1,2	0,07	12	0,29	0	0,11	0,175	0,09	0,466	0,16
O. conferta	3	2	1,2	0,07	8	0,19	0,1	0,21	0,272	0,14	0,466	0,16
P. grandiflorum	3	2	1,2	0,07	8	0,19	0,1	0,2	0,27	0,13	0,464	0,15
Rhamnidium sp. 1	4	3	1,6	0,09	12	0,29	0	0,08	0,163	0,08	0,454	0,15
E. ligustrina	4	3	1,6	0,09	12	0,29	0	0,05	0,139	0,07	0,43	0,14
M. nyctitans	4	3	1,6	0,09	12	0,29	0	0,03	0,119	0,06	0,41	0,14
Pouteria sp.	6	2	2,4	0,13	8	0,19	0	0,07	0,201	0,1	0,395	0,13
Z. modesta	3	2	1,2	0,07	8	0,19	0	0,13	0,2	0,1	0,394	0,13
S. fruticosa	3	3	1,2	0,07	12	0,29	0	0,03	0,096	0,05	0,387	0,13
P. dubium	1	1	0,4	0,02	4	0,1	0,1	0,27	0,288	0,14	0,385	0,13
I. hispida	3	3	1,2	0,07	12	0,29	0	0,02	0,089	0,04	0,38	0,13
B. lactescens	3	3	1,2	0,07	12	0,29	0	0,02	0,082	0,04	0,373	0,12
P. reticulata	3	3	1,2	0,07	12	0,29	0	0,02	0,082	0,04	0,373	0,12
G. crinita	4	2	1,6	0,09	8	0,19	0	0,09	0,177	0,09	0,371	0,12
P. stictophylla	3	3	1,2	0,07	12	0,29	0	0,01	0,076	0,04	0,367	0,12
F. gomelleira	3	2	1,2	0,07	8	0,19	0	0,08	0,148	0,07	0,342	0,11
Trichilia sp.1	1	1	0,4	0,02	4	0,1	0,1	0,21	0,236	0,12	0,333	0,11
											Co	ntinua

Nome Científico	N	U	DA	DR	FA	FR	DoA	DoR	IVC	IVC (%)	IVI	IVI (%)
P. foliolosa	1	1	0,4	0,02	4	0,1	0,1	0,21	0,229	0,11	0,326	0,11
P. ilicifolia	4	2	1,6	0,09	8	0,19	0	0,04	0,131	0,07	0,325	0,11
F. longifólia	1	1	0,4	0,02	4	0,1	0,1	0,2	0,224	0,11	0,321	0,11
P. angustiflora	3	2	1,2	0,07	8	0,19	0	0,05	0,118	0,06	0,312	0,1
G. angélica	3	2	1,2	0,07	8	0,19	0	0,05	0,113	0,06	0,307	0,1
Leguminoseae 1	2	2	0,8	0,04	8	0,19	0	0,07	0,112	0,06	0,306	0,1
A. acutiflora	4	2	1,6	0,09	8	0,19	0	0,02	0,105	0,05	0,299	0,1
A. excelsa	2	1	0,8	0,04	4	0,1	0,1	0,16	0,201	0,1	0,298	0,1
M. tomentosa	4	2	1,6	0,09	8	0,19	0	0,02	0,103	0,05	0,297	0,1
S. acutifólia	1	1	0,4	0,02	4	0,1	0,1	0,17	0,196	0,1	0,293	0,1
J. puberula	3	2	1,2	0,07	8	0,19	0	0,03	0,095	0,05	0,289	0,1
I. striata	2	2	0,8	0,04	8	0,19	0	0,05	0,093	0,05	0,287	0,1
E. pulchrum	2	2	0,8	0,04	8	0,19	0	0,04	0,088	0,04	0,282	0,09
O. elegans	2	2	0,8	0,04	8	0,19	0	0,04	0,085	0,04	0,279	0,09
E. platyphylla	3	2	1,2	0,07	8	0,19	0	0,02	0,082	0,04	0,276	0,09
M. excoriata	3	2	1,2	0,07	8	0,19	0	0,02	0,082	0,04	0,276	0,09
S. viridiflora	2	2	0,8	0,04	8	0,19	0	0,03	0,076	0,04	0,27	0,09
H. ovata	3	2	1,2	0,07	8	0,19	0	0,01	0,076	0,04	0,27	0,09
C. glaziovii	1	1	0,4	0,02	4	0,1	0	0,14	0,166	0,08	0,263	0,09
P. pulcherrima	2	2	0,8	0,04	8	0,19	0	0,02	0,065	0,03	0,259	0,09
M. floribunda	2	2	0,8	0,04	8	0,19	0	0,02	0,064	0,03	0,258	0,09
B. glaziovii	1	1	0,4	0,02	4	0,1	0	0,13	0,155	0,08	0,252	0,08
P. floribundum	2	2	0,8	0,04	8	0,19	0	0,01	0,057	0,03	0,251	0,08
A. intermedia	2	2	0,8	0,04	8	0,19	0	0,01	0,057	0,03	0,251	0,08
S. apetala	2	2	0,8	0,04	8	0,19	0	0,01	0,056	0,03	0,25	0,08
M. lineata	2	2	0,8	0,04	8	0,19	0	0,01	0,056	0,03	0,25	0,08
G. guidonia	2	2	0,8	0,04	8	0,19	0	0,01	0,055	0,03	0,249	0,08
N. langsdorffii	2	2	0,8	0,04	8	0,19	0	0,01	0,053	0,03	0,247	0,08
Rubiaceae 1	2	2	0,8	0,04	8	0,19	0	0,01	0,051	0,03	0,245	0,08
E. repanda	2	2	0,8	0,04	8	0,19	0	0,01	0,049	0,02	0,243	0,08
C. superba	1	1	0,4	0,02	4	0,1	0	0,12	0,139	0,07	0,236	0,08
Machaerium sp.2	2	1	0,8	0,04	4	0,1	0	0,08	0,125	0,06	0,222	0,07
Erythroxylum sp. 1	4	1	1,6	0,09	4	0,1	0	0,03	0,123	0,06	0,22	0,07
G. amazonicum	1	1	0,4	0,02	4	0,1	0	0,09	0,113	0,06	0,21	0,07
Casearia sp. nov.2	2	1	0,8	0,04	4	0,1	0	0,05	0,094	0,05	0,191	0,06
Euphorbiaceae 5	3	1	1,2	0,07	4	0,1	0	0,02	0,089	0,04	0,186	0,06
O. lancifolia	1	1	0,4	0,02	4	0,1	0	0,07	0,088	0,04	0,185	0,06
Cordia sp.	2	1	0,8	0,04	4	0,1	0	0,04	0,085	0,04	0,182	0,06
C. langsdorffii	1	1	0,4	0,02	4	0,1	0	0,06	0,085	0,04	0,182	0,06
D. elegans	1	1	0,4	0,02	4	0,1	0	0,06	0,08	0,04	0,177	0,06
D. incexis	1	1	0,4	0,02	4	0,1	0	0,05	0,076	0,04	0,173	0,06
F. clusiifolia	1	1	0,4	0,02	4	0,1	0	0,05	0,074	0,04	0,171	0,06
A. petiolulatus	2	1	0,8	0,04	4	0,1	0	0,02	0,064	0,03	0,161	0,05
E. ramiflora	2	1	0,8	0,04	4	0,1	0	0,02	0,06	0,03	0,157	0,05
											Co	ntinua

Nome Científico	N	U	DA	DR	FA	FR	DoA	DoR	IVC	IVC (%)	IVI	IVI (%)
Prunus sp.1	1	1	0,4	0,02	4	0,1	0	0,04	0,058	0,03	0,155	0,05
M. nobilis	2	1	0,8	0,04	4	0,1	0	0,01	0,056	0,03	0,153	0,05
M. ilicifolia	2	1	0,8	0,04	4	0,1	0	0,01	0,054	0,03	0,151	0,05
Q. megalocarpa	2	1	0,8	0,04	4	0,1	0	0,01	0,053	0,03	0,15	0,05
Astronium sp.	2	1	0,8	0,04	4	0,1	0	0,01	0,053	0,03	0,15	0,05
Erythroxylum sp.2	2	1	0,8	0,04	4	0,1	0	0,01	0,052	0,03	0,149	0,05
P. procera	1	1	0,4	0,02	4	0,1	0	0,03	0,048	0,02	0,145	0,05
T. tetrapétala	1	1	0,4	0,02	4	0,1	0	0,02	0,045	0,02	0,142	0,05
Zanthoxylon sp. 1	1	1	0,4	0,02	4	0,1	0	0,02	0,044	0,02	0,141	0,05
P. grandifolia	1	1	0,4	0,02	4	0,1	0	0,02	0,044	0,02	0,141	0,05
S. oblata	1	1	0,4	0,02	4	0,1	0	0,02	0,043	0,02	0,14	0,05
T. glabrescens	1	1	0,4	0,02	4	0,1	0	0,02	0,043	0,02	0,14	0,05
Rutaceae 1	1	1	0,4	0,02	4	0,1	0	0,02	0,04	0,02	0,137	0,05
S. brasiliensis	1	1	0,4	0,02	4	0,1	0	0,02	0,04	0,02	0,137	0,05
Annonaceae 1	1	1	0,4	0,02	4	0,1	0	0,02	0,038	0,02	0,135	0,04
M. myrcioides	1	1	0,4	0,02	4	0,1	0	0,02	0,038	0,02	0,135	0,04
R. laurifólia	1	1	0,4	0,02	4	0,1	0	0,02	0,037	0,02	0,134	0,04
A. dispermum	1	1	0,4	0,02	4	0,1	0	0,01	0,037	0,02	0,134	0,04
C. ulmifolia	1	1	0,4	0,02	4	0,1	0	0,01	0,035	0,02	0,132	0,04
Pouteria sp.2	1	1	0,4	0,02	4	0,1	0	0,01	0,035	0,02	0,132	0,04
C. atlanticum	1	1	0,4	0,02	4	0,1	0	0,01	0,034	0,02	0,131	0,04
Ocotea sp.2	1	1	0,4	0,02	4	0,1	0	0,01	0,034	0,02	0,131	0,04
C. commersoniana	1	1	0,4	0,02	4	0,1	0	0,01	0,033	0,02	0,13	0,04
E. melanogyna	1	1	0,4	0,02	4	0,1	0	0,01	0,033	0,02	0,13	0,04
Leguminoseae 4	1	1	0,4	0,02	4	0,1	0	0,01	0,032	0,02	0,129	0,04
S. multiflora	1	1	0,4	0,02	4	0,1	0	0,01	0,032	0,02	0,129	0,04
C. oblongifolia	1	1	0,4	0,02	4	0,1	0	0,01	0,031	0,02	0,128	0,04
Apocynaceae 2	1	1	0,4	0,02	4	0,1	0	0,01	0,031	0,02	0,128	0,04
B. rufa	1	1	0,4	0,02	4	0,1	0	0,01	0,03	0,02	0,127	0,04
B. guianense	1	1	0,4	0,02	4	0,1	0	0,01	0,03	0,02	0,127	0,04
O. nitida	1	1	0,4	0,02	4	0,1	0	0,01	0,03	0,01	0,127	0,04
M. multiflora	1	1	0,4	0,02	4	0,1	0	0,01	0,03	0,02	0,127	0,04
E. excelsa	1	1	0,4	0,02	4	0,1	0	0,01	0,029	0,01	0,126	0,04
D. capreaefolia	1	1	0,4	0,02	4	0,1	0	0,01	0,029	0,01	0,126	0,04
Chrysobalanaceae 2	1	1	0,4	0,02	4	0,1	0	0,01	0,029	0,01	0,126	0,04
H. dentatum	1	1	0,4	0,02	4	0,1	0	0,01	0,029	0,01	0,126	0,04
Sapotaceae 4	1	1	0,4	0,02	4	0,1	0	0,01	0,028	0,01	0,125	0,04
Senedelfera sp.1	1	1	0,4	0,02	4	0,1	0	0,01	0,028	0,01	0,125	0,04
Cabralea sp.	1	1	0,4	0,02	4	0,1	0	0,01	0,028	0,01	0,125	0,04
T. catharinensis	1	1	0,4	0,02	4	0,1	0	0,01	0,028	0,01	0,125	0,04
M. brauna	1	1	0,4	0,02	4	0,1	0	0,01	0,028	0,01	0,125	0,04
E. subterminalis	1	1	0,4	0,02	4	0,1	0	0,01	0,028	0,01	0,125	0,04
Coccoloba sp.1	1	1	0,4	0,02	4	0,1	0	0,01	0,028	0,01	0,125	0,04
S. cedron	1	1	0,4	0,02	4	0,1	0	0,01	0,027	0,01	0,124	0,04
											Co	ntinua

Nome Científico	N	U	DA	DR	FA	FR	DoA	DoR	IVC	IVC (%)	IVI	IVI (%)
Micropholis sp. 1	1	1	0,4	0,02	4	0,1	0	0,01	0,027	0,01	0,124	0,04
V. orinocensis	1	1	0,4	0,02	4	0,1	0	0	0,027	0,01	0,124	0,04
C. estrellensis	1	1	0,4	0,02	4	0,1	0	0	0,027	0,01	0,124	0,04
Liriosma sp.	1	1	0,4	0,02	4	0,1	0	0,01	0,027	0,01	0,124	0,04
P. filipes	1	1	0,4	0,02	4	0,1	0	0	0,026	0,01	0,123	0,04
A. concolor	1	1	0,4	0,02	4	0,1	0	0	0,026	0,01	0,123	0,04
Siparuna sp. 1	1	1	0,4	0,02	4	0,1	0	0	0,026	0,01	0,123	0,04
R. mattfeldiana	1	1	0,4	0,02	4	0,1	0	0	0,026	0,01	0,123	0,04
Myrtaceae sp. 2	1	1	0,4	0,02	4	0,1	0	0	0,025	0,01	0,122	0,04
D. nigra	1	1	0,4	0,02	4	0,1	0	0	0,025	0,01	0,122	0,04
Euphorbiaceae 4	1	1	0,4	0,02	4	0,1	0	0	0,025	0,01	0,122	0,04
Leguminoseae 3	1	1	0,4	0,02	4	0,1	0	0	0,025	0,01	0,122	0,04
C. saligna	1	1	0,4	0,02	4	0,1	0	0	0,025	0,01	0,122	0,04
C. brasiliensis	1	1	0,4	0,02	4	0,1	0	0	0,025	0,01	0,122	0,04
A. discolor	1	1	0,4	0,02	4	0,1	0	0	0,025	0,01	0,122	0,04
I. warmingii	1	1	0,4	0,02	4	0,1	0	0	0,025	0,01	0,122	0,04
Euphorbiaceae 2	1	1	0,4	0,02	4	0,1	0	0	0,025	0,01	0,122	0,04
C.espiritosantensis	1	1	0,4	0,02	4	0,1	0	0	0,025	0,01	0,122	0,04
Conchocarpus sp.	1	1	0,4	0,02	4	0,1	0	0	0,024	0,01	0,121	0,04
ingresso	790	26	316	17,4	104	2,52	4,9	15,1	32,51	16,25	35,029	11,68
TOTAL	4550	1031	1820	100	4124	100	31,1	100	200	100	300	100

Apêndice 2 - Ilustração da correlação observada entre as variáveis dependentes (área basal e volume de madeira) e as variáveis independentes (variáveis do sensoriamento remoto).

## Legenda:

Variável referência	Variável representativa	Variável referência	Variável representativa
B <sub>2</sub>	Var.1	B <sub>4</sub> /B <sub>3</sub>	Var.24
$B_3$	Var.2	B <sub>4</sub> /B <sub>5</sub>	Var.25
$B_4$	Var.3	B <sub>4</sub> /B <sub>6</sub>	Var.26
$B_5$	Var.4	B <sub>4</sub> /B <sub>7</sub>	Var.27
$B_6$	Var.5	$B_5/B_2$	Var.28
$B_7$	Var.6	$B_5/B_3$	Var.29
EVI	Var.7	B <sub>5</sub> /B <sub>4</sub>	Var.30
RATIO	Var.8	$B_5/B_6$	Var.31
NDVI	Var.9	B <sub>5</sub> /B <sub>7</sub>	Var.32
TVI	Var.10	$B_6/B_2$	Var.33
SAVI	Var.11	$B_6/B_3$	Var.34
MSAVI	Var.12	$B_6/B_4$	Var.35
$B_2/B_3$	Var.13	$B_6/B_5$	Var.36
$B_2/B_4$	Var.14	$B_6/B_7$	Var.37
$B_2/B_5$	Var.15	$B_7/B_2$	Var.38
$B_2/B_6$	Var.16	$B_7/B_3$	Var.39
$B_2/B_7$	Var.17	$B_7/B_4$	Var.40
$B_3/B_2$	Var.18	$B_7/B_5$	Var.41
$B_3/B_4$	Var.19	$B_7/B_6$	Var.42
$B_3/B_5$	Var.20	Declividade	Var.43
$B_3/B_6$	Var.21	Rugosidade	Var.44
$B_3/B_7$	Var.22	Altitude	Var.45
$B_4/B_2$	Var.23	Orientação	Var.46

Figura 5 - Representação das correlações entre área basal e as variáveis do sensoriamento remoto com dados provenientes da área da parcela.

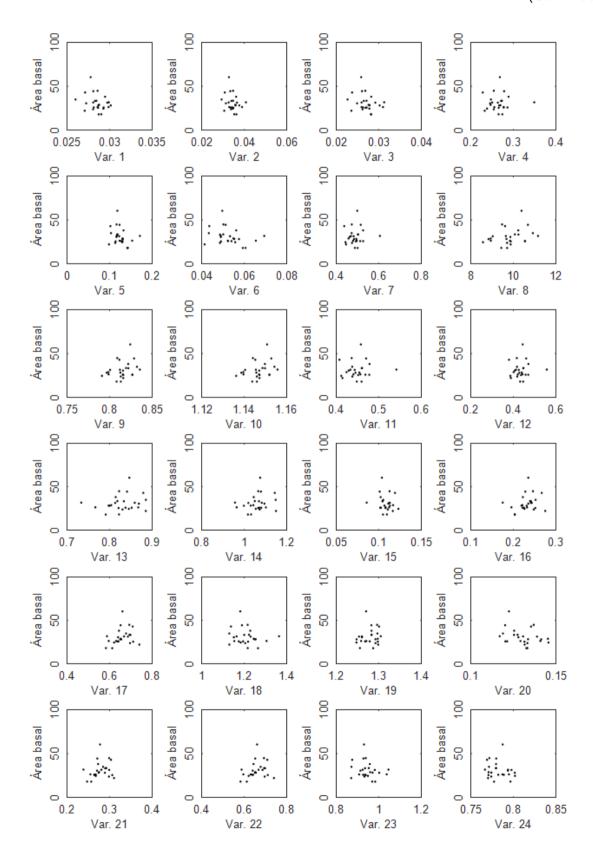


Figura 5 - Representação das correlações entre área basal e as variáveis do sensoriamento remoto com dados provenientes da área da parcela.

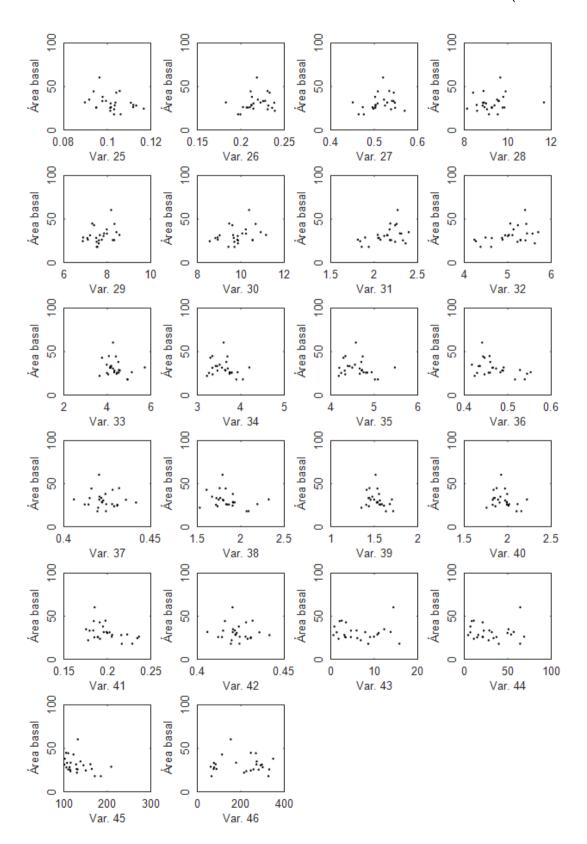


Figura 6 - Representação das correlações entre volume de madeira e as variáveis do sensoriamento remoto com dados provenientes da área da parcela.

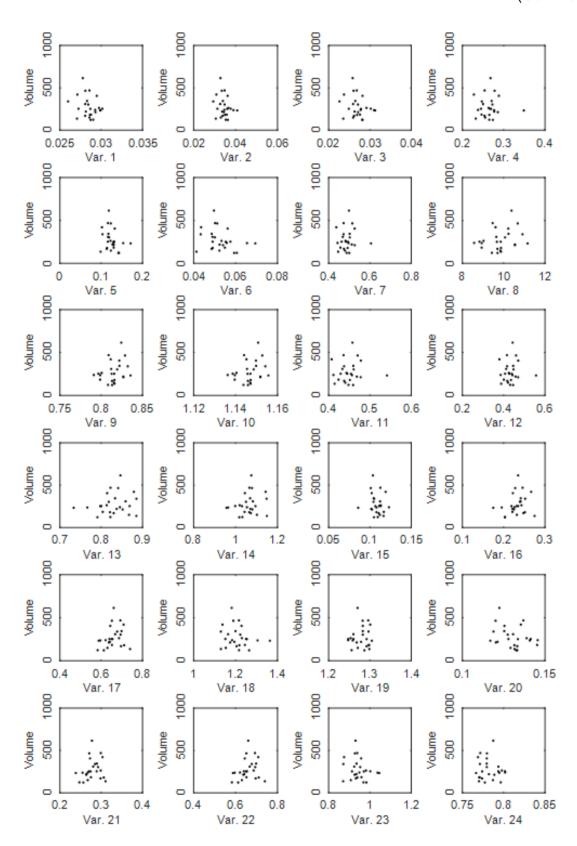


Figura 6 - Representação das correlações entre volume de madeira e as variáveis do sensoriamento remoto com dados provenientes da área da parcela.

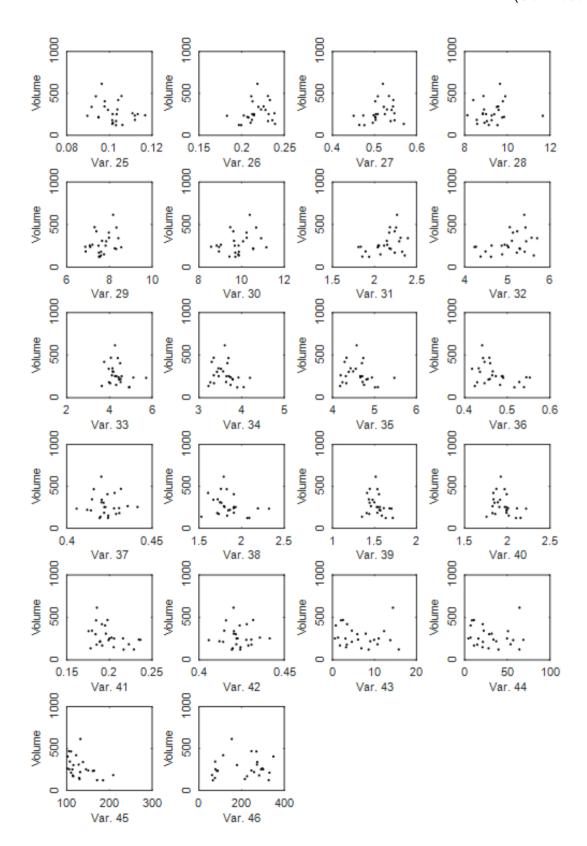


Figura 7 - Representação das correlações entre área basal e as variáveis do sensoriamento remoto com dados provenientes da janela espectral 1 x 1 pixel.

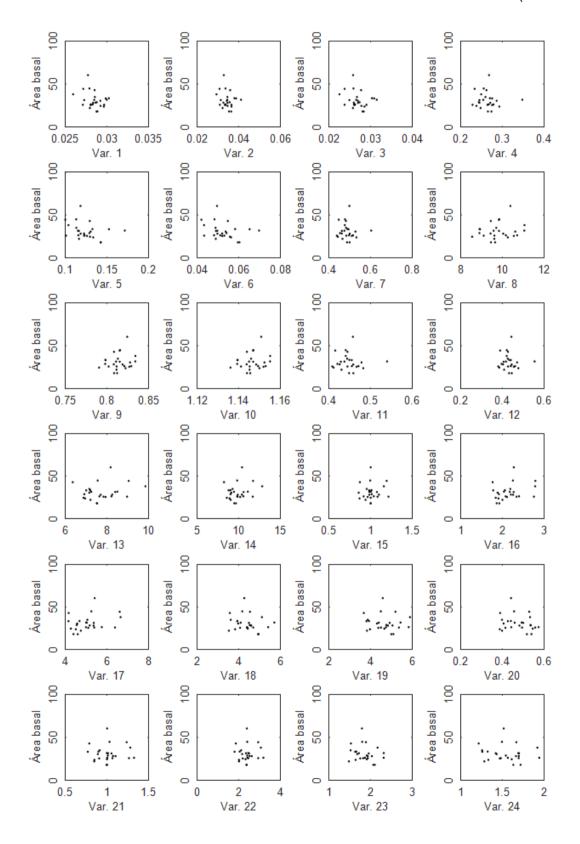


Figura 7 - Representação das correlações entre área basal e as variáveis do sensoriamento remoto com dados provenientes da janela espectral 1 x 1 pixel.

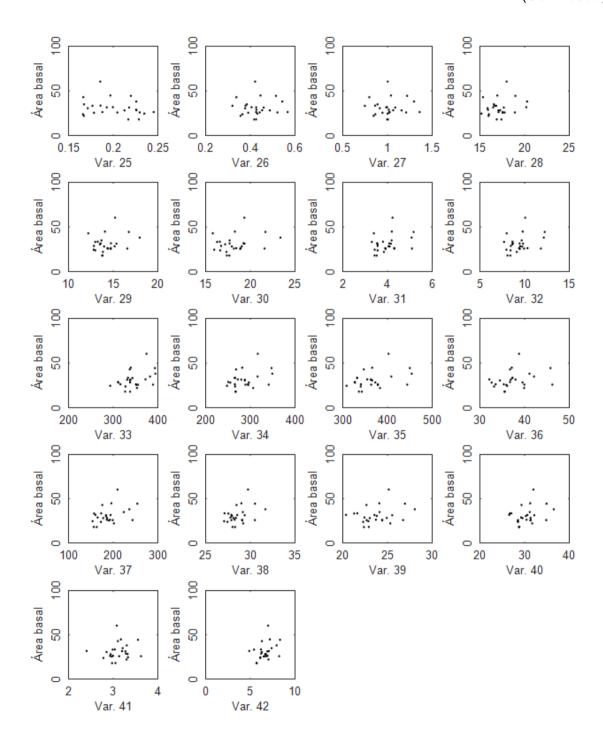


Figura 8 - Representação das correlações entre volume de madeira e as variáveis do sensoriamento remoto com dados provenientes da área da janela espectral 1 x 1 pixel.

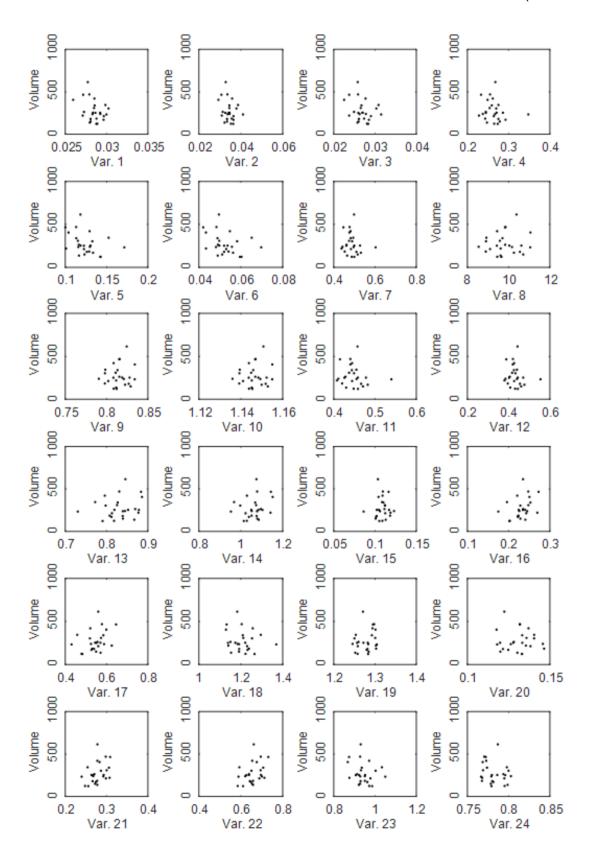


Figura 8 - Representação das correlações entre volume de madeira e as variáveis do sensoriamento remoto com dados provenientes da área da janela espectral 1 x 1 pixel.

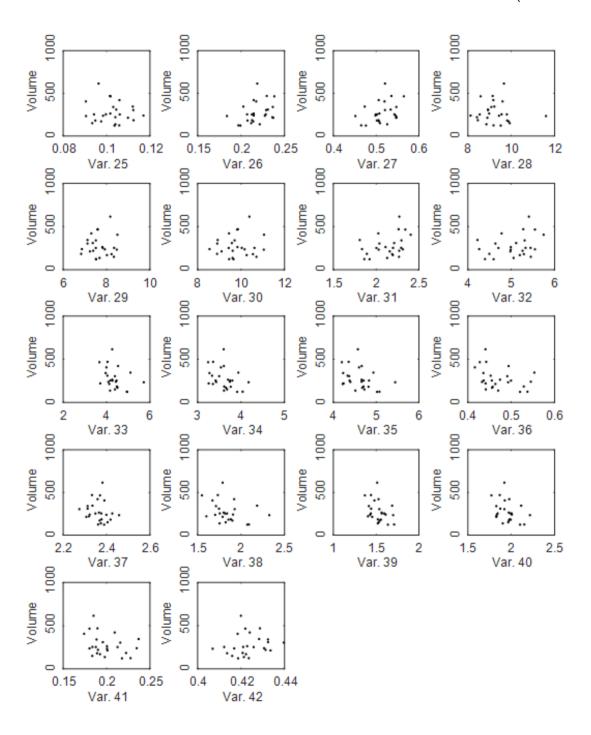


Figura 9 - Representação das correlações entre área basal e as variáveis do sensoriamento remoto com dados provenientes da janela espectral 2 x 2 pixels.

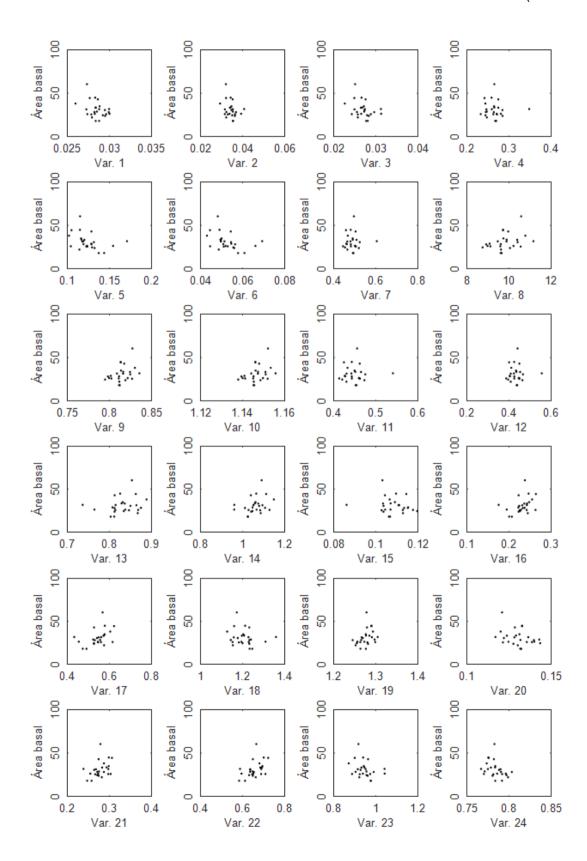


Figura 9 - Representação das correlações entre área basal e as variáveis do sensoriamento remoto com dados provenientes da janela espectral 2 x 2 pixels.

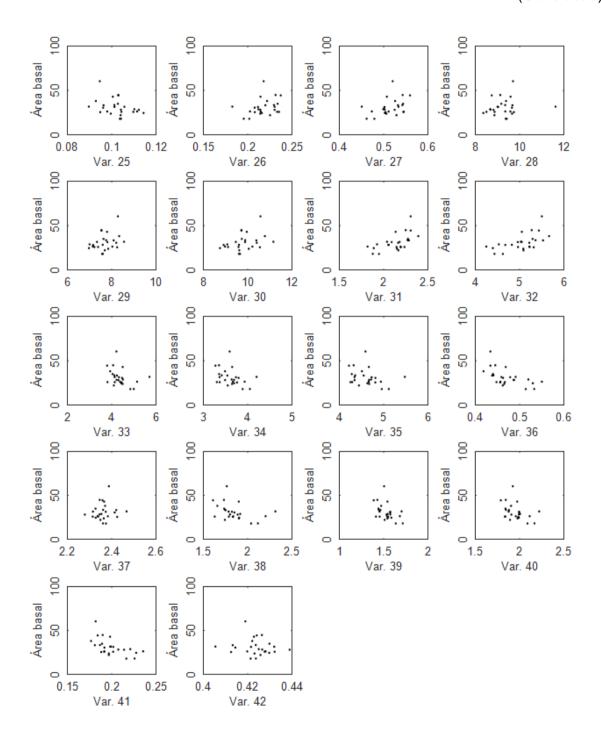


Figura 10 - Representação das correlações entre volume de madeira e as variáveis do sensoriamento remoto com dados provenientes da área da janela espectral 2 x 2 pixels.

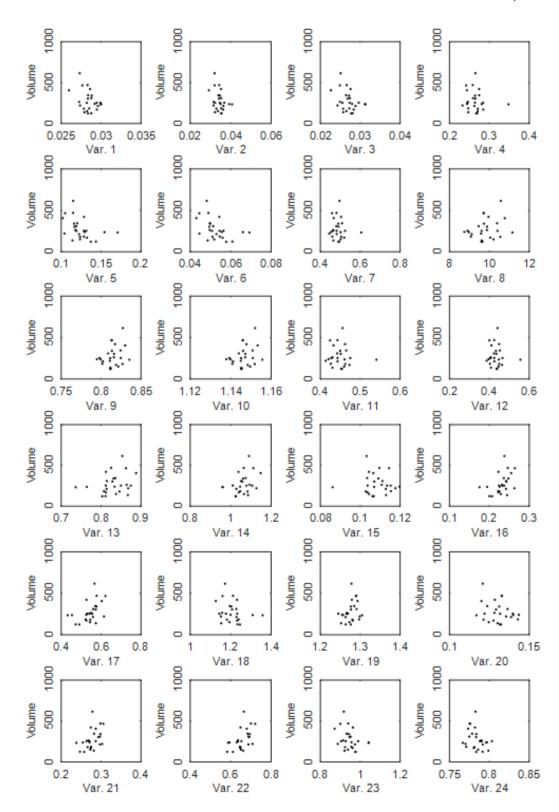


Figura 10 - Representação das correlações entre volume de madeira e as variáveis do sensoriamento remoto com dados provenientes da área da janela espectral 2 x 2 pixels.

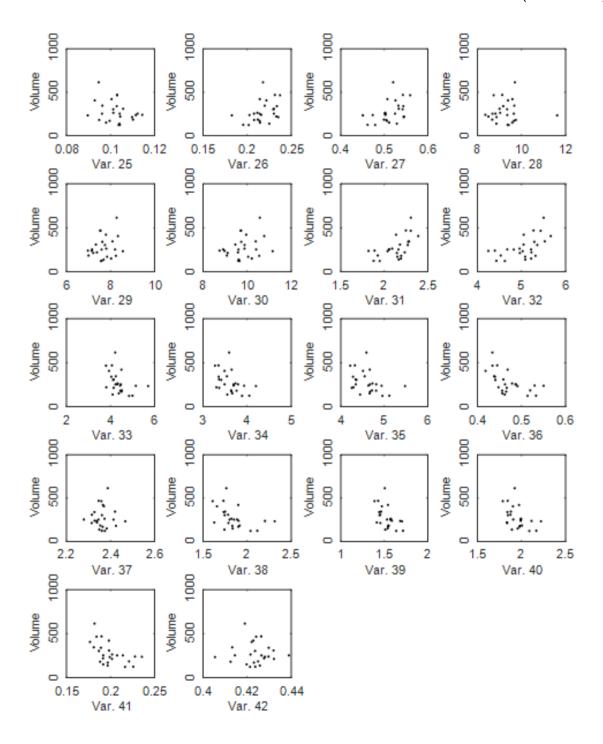


Figura 11 - Representação das correlações entre área basal e as variáveis do sensoriamento remoto com dados provenientes da janela espectral 3 x 3 pixels.

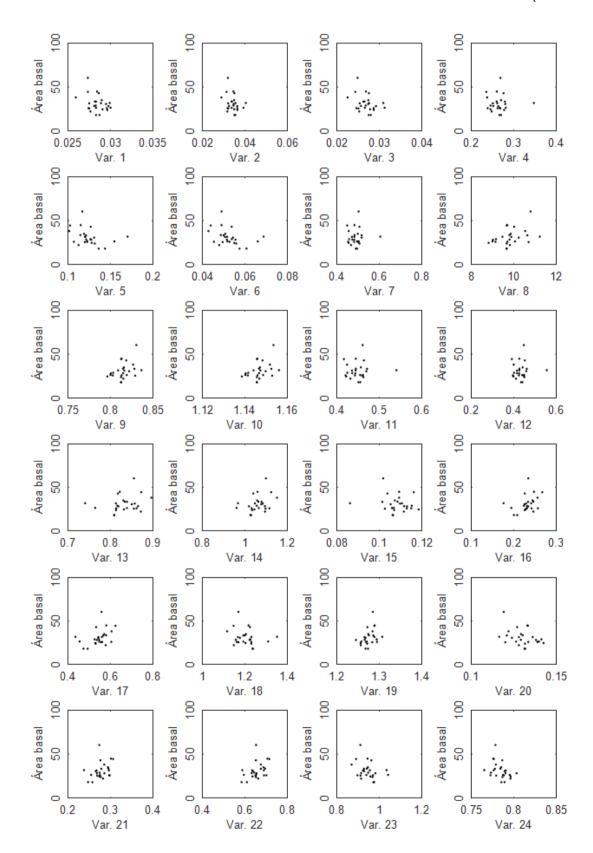


Figura 11 - Representação das correlações entre área basal e as variáveis do sensoriamento remoto com dados provenientes da janela espectral 3 x 3 pixels.

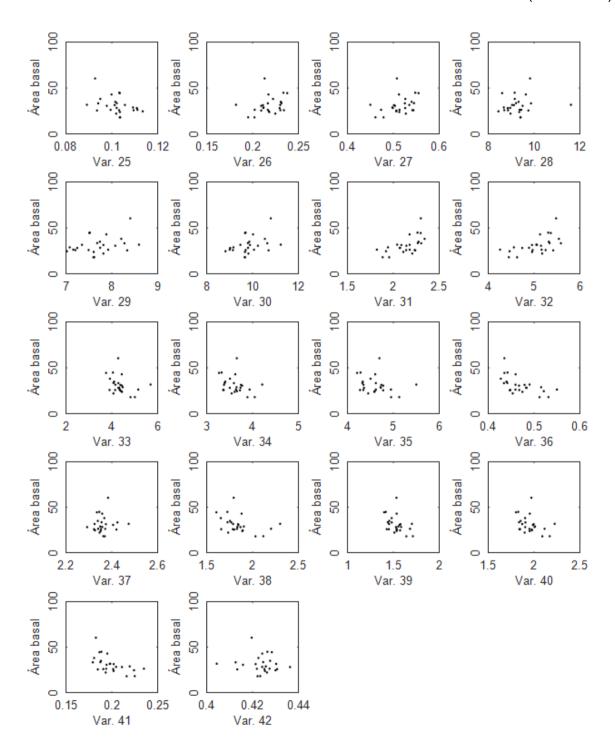


Figura 12 - Representação das correlações entre volume de madeira e as variáveis do sensoriamento remoto com dados provenientes da área da janela espectral 3 x 3 pixels.

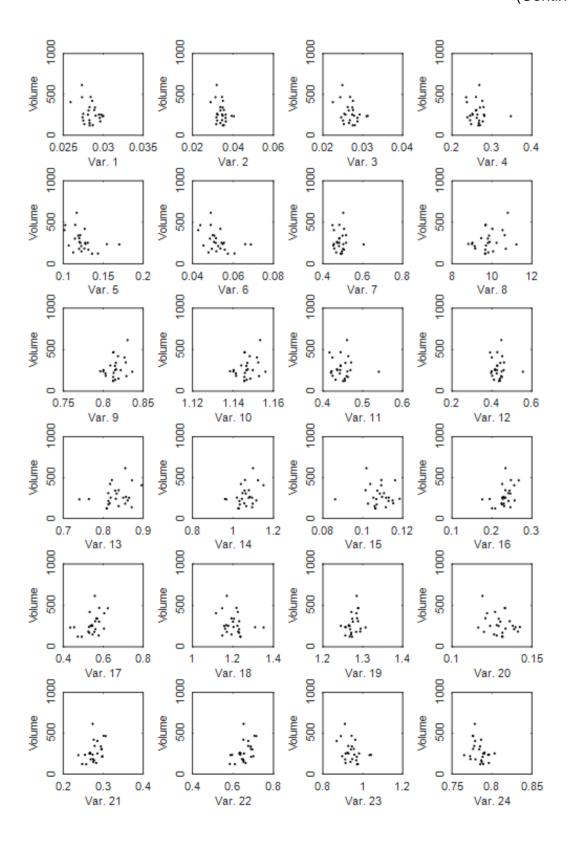
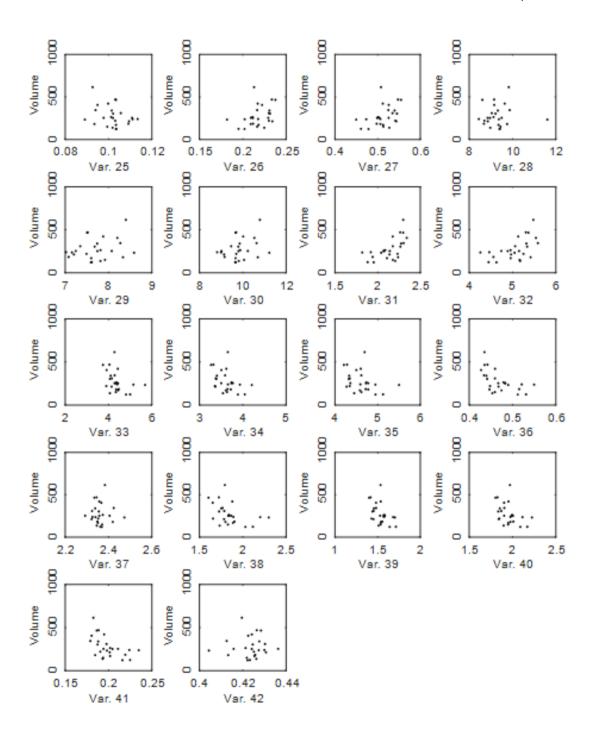


Figura 12 - Representação das correlações entre volume de madeira e as variáveis do sensoriamento remoto com dados provenientes da área da janela espectral 3 x 3 pixels.



Apêndice 3 – Equações ajustadas para a estimação da área basal e volume de madeira do fragmento de Floresta Estacional Semidecidual Submontana, localizado na RPPN Cafundó, município de Cachoeiro do Itapemirim, ES.

Tabela 10 - Variáveis selecionadas, estatísticas de ajuste e validação cruzada referentes as equações ajustadas para a predição da área basal e volume de madeira com dados provenientes da área da parcela.

	Área bas	al							
		Estatísticas							
Nº variáveis	Variáveis selecionadas	-	Ajuste	Validação cruzada					
		$ar{R}^2$	RMSE (m²ha <sup>-1</sup> )	$\bar{R}_{cv}^2$	RMSEcv (m²ha <sup>-1</sup> )				
1	$B_6.B_5^{-1}$	0,1559	8,27 (26,45%)	0,0847	8,92 (28,54%)				
2	rugosidade;altitude	0,1957	7,90 (25,25%)	0,0181	10,28 (32,90%)				
3	$B_4.B_3^{-1}$ ; rugosidade; altitude	0,2235	7,58 (24,24%)	0,0415	10,01 (32,03%)				
4	$B_4.B_2^{-1}$ ; $B_7.B_3^{-1}$ ; rugosidade; altitude	0,1565	7,71 (24,66%)	0,0101	10,79 (34,51%)				
5	$B_5.B_3^{-1}; B_5.B_7^{-1}; B_7.B_3^{-1}; rugosidade, altitude$	0,3767	6,46 (20,66%)	0,1816	8,71 (27,87%)				
6	$NDVI; B_3.B_5^{-1}; B_3.B_6^{-1}; B_6.B_5^{-1}; rugosidade; altitude$	0,4332	6,00 (19,18%)	0,2261	8,54 (27,30%)				
7	$B_2.B_3^{-1}; B_2.B_6^{-1}; B_2.B_7^{-1}; B_3.B_6^{-1}; B_7.B_2^{-1}; rugosidade; altitude$	0,5012	5,47 (17,48%)	0,3000	8,26 (26,43%)				
	Volume de m	adeira							
1	altitude	0,1363	109,3530 (39,56%)	0,0853	116,2003 (42,03%)				
2	rugosidade;altitude	0,2475	99,8329 (36,11%)	0,0840	123,4138 (44,64%)				
3	$B_{A}$ . $B_{3}^{-1}$ ; rugosidade; altitude	0,2396	98,0476 (35,47%)	0,0894	123,2950 (44,59%)				
4	$B_2.B_7^{-1}$ ; $B_7.B_3^{-1}$ ; rugosidade; altitude	0,3509	88,4048 (31,98%)	0,1968	111,1926 (40,22%)				
5	$B_2.B_7^{-1}; B_3.B_4^{-1}; B_7.B_3^{-1}; rugosidade; altitude$	0,3694	84,9293 (30,72%)	0,2385	108,0977 (39,10%)				
6	$B_2.B_6^{-1}; B_3.B_2^{-1}; B_6.B_2^{-1}; B_6.B_3^{-1}; declividade; altitude$	0,4293	78,6361 (28,44%)	0,2408	112,1803 (40,57%)				
7	$B_2.B_3^{-1}; B_2.B_6^{-1}; B_3.B_6^{-1}; B_4.B_2^{-1}; B_7.B_2^{-1}; rugosidade; altitude$	0,1008	95,9270 (34,70%)	0,0068	147,8937 (53,49%)				

Tabela 11 - Variáveis selecionadas, estatísticas de ajuste e validação cruzada referentes as equações ajustadas para a predição da área basal e volume de madeira com dados provenientes da janela espectral 1 x 1 pixel.

	Área bas	al							
		Estatísticas							
Nº variáveis	Variáveis selecionadas		Ajuste	Validação cruzada					
		$\bar{R}^2$	RMSE (m²ha <sup>-1</sup> )	$ar{R}_{cv}^2$	RMSEcv (m²ha <sup>-1</sup> )				
1	$B_5.B_6^{-1}$	0,1007	8,54 (27,30%)	0,0325	9,23 (29,54%)				
2	$B_7.B_3^{-1}$ ; rugosidade	0,1696	8,02 (25,66%)	0,0361	9,42 (30,14%)				
3	$B_6.B_3^{-1}$ ; rugosidade; altitude	0,2619	7,39 (23,64%)	0,0918	9,14 (29,23%)				
4	$B_4.B_7^{-1}$ ; $B_6.B_3^{-1}$ ; rugosidade; altitude	0,2949	7,05 (22,55%)	0,0930	9,37 (29,98%)				
5	$B_5.B_4^{-1}; B_5.B_6^{-1}; B_6.B_3^{-1}; rugosidade; altitude$	0,3234	6,73 (21,53%)	0,1574	8,81 (28,17%)				
6	$NDVI; B_3.B_6^{-1}; B_4.B_3^{-1}; B_6.B_5^{-1}; rugosidade; altitude$	0,3034	6,65 (21,26%)	0,0943	9,43 (30,15%)				
7	$B_2.B_3^{-1}; B_2.B_4^{-1}; B_6.B_3^{-1}; B_6.B_7^{-1}; B_7.B_4^{-1}; rugosidade; altitude$	0,3075	6,88 (22,00%)	0,1121	9,53 (30,47%)				
	Volume de m	adeira							
1	$B_5.B_6^{-1}$	0,0942	111,9885 (40,51%)	0,0247	121,7051 (44,029				
2	$B_6.B_3^{-1}$ ; rugosidade	0,2208	101,5833 (36,74%)	0,0913	117,9873 (42,689				
3	$B_6.B_3^{-1}$ ; rugosidade; altitude	0,3281	92,1638 (33,33%)	0,2000	109,1645 (39,499				
4	$B_4.B_7^{-1}$ ; $B_6.B_3^{-1}$ ; rugosidade; altitude	0,3920	85,5559 (30,94%)	0,2105	110,7107 (40,05%				
5	$B_4$ . $B_7^{-1}$ ; $B_6$ . $B_3^{-1}$ ; orientação dos vertentes; rugosidade; altitude	0,3731	84,6760 (30,62%)	0,1843	113,9414 (41,229				
6	$B_4; B_7; B_3. B_6^{-1}; B_6. B_3^{-1}; rugosidade; altitude$	0,3762	82,2172 (29,73%)	0,1642	118,8595 (42,999				
7	$B_3; B_4; B_3.B_4^{-1}; B_6.B_5^{-1}; B_7.B_5^{-1}; B_7.B_6^{-1}; rugosidade$	0,3566	81,1417 (29,35%)	0,1711	117,2425 (42,409				

Tabela 12 - Variáveis selecionadas, estatísticas de ajuste e validação cruzada referentes as equações ajustadas para a predição da área basal e volume de madeira com dados provenientes da janela espectral 2 x 2 pixels.

	Áı	rea basal	Fat	otíotioos		
Nº variáveis	Variáveis selecionadas		Ajuste	atísticas Validação cruzada		
	Variaveis selectionadas	$ar{ar{R}}^2$	RMSE (m²ha <sup>-1</sup> )	$\bar{R}_{cv}^2$	RMSEcv (m²ha <sup>-1</sup> )	
1	$B_{5}.B_{6}^{-1}$	0,3183	7,43 (23,77%)	0,2400	8,08 (25,85%)	
2	$B_5.B_6^{-1}$ ; rugosidade	0,3866	6,90 (22,05%)	0,2195	8,33 (26,65%)	
3	$B_2.B_5^{-1}; B_6.B_3^{-1}; rugosidade$	0,4336	6,47 (20,70%)	0,2832	7,95 (25,43%)	
4	$B_3.B_6^{-1}; B_5.B_2^{-1}; B_6.B_3^{-1}; rugosidade$	0,4531	6,21 (19,86%)	0,2630	8,12 (25,96%)	
5	$B_3.B_6^{-1}; B_5.B_2^{-1}; B_5.B_3^{-1}; B_6.B_2^{-1}; rugosidade$	0,4535	6,05 (19,35%)	0,2504	8,25 (26,39%)	
6	NDVI; TVI; MSAVI; $B_4$ . $B_5^{-1}$ ; $B_5$ . $B_7^{-1}$ ; declividade	0,2982	6,67 (21,34%)	0,1305	9,27 (29,63%)	
7	$B_5; B_7; NDVI; TVI; B_4. B_5^{-1}; B_5. B_7^{-1}; rugosidade$	0,3161	6,40 (20,47%)	0,1770	8,81 (28,19%)	
	Volum	e de madeir	a			
1	$B_5.B_6^{-1}$	0,3167	97,2702 (35,18%)	0,2404	105,6718 (38,22%	
2	$B_5.B_6^{-1}; B_6.B_5^{-1}$	0,3926	89,6906 (32,44%)	0,3124	101,5473 (36,73%	
3	$B_5 . B_2^{-1}; B_6 . B_4^{-1}; rugosidade$	0,4267	85,1316 (30,79%)	0,3047	101,5332 (36,72%	
4	$NDVI; TVI; B_3.B_7^{-1}; B_4.B_5^{-1}$	0,2551	94,7033 (34,26%)	0,1851	111,5000 (40,33%	
5	NDVI; $TVI$ ; $B_3$ , $B_7^{-1}$ ; $B_4$ , $B_5^{-1}$ ; $B_7$ , $B_6^{-1}$	0,2468	92,8185 (33,57%)	0,1933	111,6977 (40,40%	
6	NDVI; $TVI$ ; $B_3$ . $B_4^{-1}$ ; $B_3$ . $B_7^{-1}$ ; $B_4$ . $B_5^{-1}$ ; $B_5$ . $B_7^{-1}$	0,2279	91,4704 (33,09%)	0,1174	136,9626 (49,54%	
7	$B_3$ ; NDVI; TVI; $B_4$ . $B_5^{-1}$ ; $B_5$ . $B_4^{-1}$ ; $B_7$ . $B_5^{-1}$ ; declividade	0,2497	87,6282 (31,70%)	0,0319	163,2356 (59,05%	

Tabela 13 - Variáveis selecionadas, estatísticas de ajuste e validação cruzada referentes as equações ajustadas para a predição da área basal e volume de madeira com dados provenientes da janela espectral 3 x 3 pixels.

	Área bas	sal							
		<b>Estatísticas</b>							
Nº variáveis	Variáveis selecionadas		Ajuste	Validação cruzada					
		$\bar{R}^2$	RMSE (m²ha <sup>-1</sup> )	$ar{R}_{cv}^2$	RMSEcv (m²ha <sup>-1</sup> )				
1	$B_5.B_6^{-1}$	0,3240	7,40 (23,67%)	0,2422	8,08 (25,83%)				
2	$B_5.B_6^{-1}$ ; rugosidade	0,3895	6,88 (22,00%)	0,2366	8,20 (26,23%)				
3	$B_5; B_6 B_2^{-1}; rugosidade$	0,4558	6,35 (20,30%)	0,3180	7,71 (24,64%)				
4	$B_5; B_6; B_7. B_5^{-1}; rugosidade$	0,5212	5,81 (18,58%)	0,3840	7,29 (23,32%)				
5	$B_5$ ; $B_6$ ; $B_5$ . $B_7^{-1}$ ; declividade, rugosidade	0,5927	5,22 (16,70%)	0,5069	6,48 (20,73%)/				
6	$B_6$ ; SAVI; $B_2$ . $B_5^{-1}$ ; $B_7$ . $B_7^{-1}$ ; declividade; rugosidade	0,6171	4,93 (15,76%)	0,5535	6,17 (19,75%)				
7	$B_3$ ; SAVI; $B_3$ . $B_5^{-1}$ ; $B_6$ . $B_2^{-1}$ ; $B_6$ . $B_7^{-1}$ ; declividade; rugosidade	0,6554	4,54 (14,53%)	0,6244	5,67 (18,15%)				
	Volume de n	nadeira							
1	$B_5.B_6^{-1}$	0,3209	96,9709 (35,08%)	0,2396	105,8669 (38,29%)				
2	$B_5.B_6^{-1}; B_6.B_5^{-1}$	0,4072	88,6019 (32,05%)	0,3463	97,8074 (35,38%)				
3	$B_5 B_6^{-1}$ ; declividade; rugosidade	0,4329	84,6699 (30,62%)	0,3149	101,3884 (36,67%)				
4	$B_5; B_6; B_7. B_5^{-1}; rugosidade$	0,4822	78,9562 (28,56%)	0,3921	94,5298 (34,19%)				
5	$B_5$ ; $B_6$ ; $B_7$ . $B_5^{-1}$ ; declividade, rugosidade	0,5480	71,9037 (26,01%)	0,4839	87,2775 (31,57%)				
6	NDVI;TVI;MSAVI; $B_4.B_5^{-1}$ ; $B_6.B_7^{-1}$ ; $B_7.B_5^{-1}$	0,2995	87,1218 (31,51%)	0,1516	118,9151 (43,01%)				
7	$B_7$ ; EVI; $B_3$ . $B_5^{-1}$ ; $B_5$ . $B_6^{-1}$ ; $B_7$ . $B_3^{-1}$ ; declividade; rugosidade	0,6039	63,6720 (23,03%)	0,5380	83,7707 (30,30%)				