



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

DANIEL JOVENTINO SCHIMIDT BOY

RELAÇÕES DE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO COM PADRÕES ESTRUTURAIS NA
FLORESTA AMAZÔNICA ORIENTAL

Prof. Dr. BRUNO ARAUJO FURTADO DE MENDONÇA
Orientador

SEROPÉDICA, RJ
DEZEMBRO – 2021



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

DANIEL JOVENTINO SCHIMIDT BOY

RELAÇÕES DE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO COM PADRÕES ESTRUTURAIS NA
FLORESTA AMAZÔNICA ORIENTAL

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal, como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Florestal, Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Prof. Dr. BRUNO ARAUJO FURTADO DE MENDONÇA
Orientador

SEROPÉDICA, RJ
DEZEMBRO – 2021

RELAÇÕES DE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO COM PADRÕES ESTRUTURAIS NA
FLORESTA AMAZÔNICA ORIENTAL

DANIEL JOVENTINO SCHIMIDT BOY

APROVADA EM: 09/12/2021

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Bruno Araujo Furtado de Mendonça – UFRRJ
Orientador

Prof. Dr. Claudia Moster – UFRRJ
Membro

Prof. Dr. Rodolfo Cesar Real de Abreu –UFRRJ
Membro

AGRADECIMENTOS

A Deus por todo o ensinamento, amor e cuidado. Obrigado por tudo, Senhor. Principalmente pela paz e felicidade que tem me dado.

A minha mãe e rainha Gláucia por me apoiar e incentivar desde sempre, por confiar em mim e me ensinar o maior amor do mundo

Ao meu pai Alvaro por todo o ensinamento, amor e apoio que me fizeram ser quem sou hoje.

Aos meus avós maternos, meus grandes amores, Newton e Wilma pelo amor incondicional e todo apoio e carinho na caminhada.

A toda minha família por estarem sempre me apoiando e acompanhando de perto, amo vocês.

Aos meus verdadeiros amigos que sempre estiveram ao meu lado, amo vocês.

A professora Claudia, por ter me recebido, iniciado e motivado na vida acadêmica, isso foi de grande importância para mim.

Ao professor Bruno, pelas oportunidades, grande apoio e ensinamento.

A Juliana, minha orientadora na Embrapa, cujos ensinamentos e oportunidade foram de grande valia.

A todos os professores que se demonstraram sempre muito solícitos durante toda a graduação e deram sua importante contribuição nesta caminhada.

RESUMO

O sensoriamento remoto tem sido uma das principais ferramentas na análise e monitoramento da superfície, além de permitir entender o comportamento biofísico da vegetação que pode auxiliar no manejo florestal. Neste estudo, foram utilizados oito índices de vegetação (NDVI, SAVI, RVI, EVI, TVI, GNDVI, RDVI e OSAVI) cujos valores foram correlacionados com o Diâmetro à Altura do Peito (DAP), a partir do inventário de espécies arbóreas na Floresta Estadual do Paru, no estado do Pará (PA). Os dados foram separados em classes de diâmetro, os quais foram correlacionados com os valores de índice de vegetação obtidos. A média, desvio padrão, coeficiente de variação e correlação de Pearson foram calculados para cada índice. O teste de Shapiro-Wilk também foi realizado para verificar a normalidade dos dados e o teste de Kruskal-Wallis para análise de médias. Todos os índices obtiveram diferença estatística entre as classes inferiores e superiores, apesar de uma variação de 8,69% entre os coeficientes de variação (CV%) dos índices GNDVI (10,51%) e NDVI (1,71%), de maior e menor dispersão, respectivamente. Os índices em sua totalidade apresentaram boas correlações com o DAP, com comportamentos semelhantes. O maior valor de correlação foi o GNDVI (92,20%), categorizado como muito forte, sendo o menor valor referente ao NDVI / RVI (88,73%), apesar dos obstáculos, como a sobreposição de copas em classes mais baixas, no comportamento da resposta espectral do dossel. O GNDVI demonstrou maior sensibilidade às características das camadas inferiores do dossel, expressando valores mais próximos do esperado nas classes mais baixas, onde ocorre o fenômeno de sobreposição de copas, obtendo maiores valores de correlação com o DAP.

Palavras-chave: Manejo florestal, NDVI, Inventário florestal, Geoprocessamento, Sensoriamento remoto

ABSTRACT

Remote sensing has been one of the main tools in the analysis and monitoring of the surface, as well as allow to understand the biophysical behavior of vegetation which can help forest management. In this study, we used eight vegetation indices (NDVI, SAVI, RVI, EVI, TVI, GNDVI, RDVI and OSAVI) whose values were correlated with a structural parameter Diameter at Breast Height (DBH) of a vast tree species inventory in the state forest of Paru, in the state of Pará (PA), in Brazil. These data were divided into classes of diameter, which were correlated with the vegetation index values obtained. The mean, standard deviation, coefficient of variation and Pearson's correlation were calculated for each index. The Shapiro-Wilk test was also performed to test the normality of the data and the Kruskal-wallis test as a test of means. All indices obtained a statistical difference between the lower and upper classes, despite a variation of 8.69% between the variation coefficients (CV%) of the GNDVI (10.51%) and NDVI (1.71%) indices, of greater and lesser dispersion, respectively. The indices in their entirety showed good correlations with the DBH, with similar behaviors, with the highest correlation value referring to GNDVI (92.20%) and the lowest value referring to NDVI / RVI (88.73%), categorized as very strong and strong correlation, respectively, despite obstacles found in the behavior of the canopy spectral response, such as the overlapping of canopies in lower classes. The GNDVI has demonstrated greater sensitivity to characteristics of lower layers of the canopy, being able, through the influence of these characteristics, to express values closer to that expected in lower classes, where the phenomenon of overlapping crowns occurs, thus obtaining higher values of correlation with the DBH.

Keywords: Forest management, NDVI, Forest inventory, Geoprocessing, Remote Sensing

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	1
2.1. O Sensoriamento remoto	1
2.1.2. Histórico	2
2.1.3. Sensores.....	3
2.2. Índices de vegetação.....	4
3. MATERIAL E MÉTODOS	6
3.1. Área de estudo	6
3.2. Banco de dados	7
3.3. Base de imagens e pré-processamentos	7
3.4. Cálculo dos índices de vegetação	8
3.5. Classificação dos indivíduos.....	8
3.6. Processamento e geração de resultados	9
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	10
4.1. Análise do Comportamento dos valores de índice em relação ao DAP	10
4.2. Análise estatística e de correlação dos dados	13
5. CONCLUSÃO	15
6. REPERFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	16

1. INTRODUÇÃO

O sensoriamento remoto tem sido uma das principais ferramentas na análise e monitoramento da vegetação natural e plantada em todo o planeta, sendo peça fundamental para a conservação e monitoramento da produtividade dessas áreas. Segundo Menezes e Almeida (2012), sensoriamento remoto é a ciência que visa o desenvolvimento de tecnologias que permitam a obtenção de informações sobre a superfície do planeta, utilizando sensores capazes de quantificar as interações entre a radiação eletromagnética incidente e objetos na superfície. Essas informações são posteriormente processadas em software de sistema de informações geográficas (SIG), que permitem a manipulação de dados e a obtenção dos mais diversos resultados. Esta grande aplicabilidade é proporcionada por uma alta variedade de tipos e tecnologias dos sensores atualmente em órbita, o que garante boa resolução espacial, radiométrica e espectral, e uma conseqüente alta quantidade de informações que podem ser obtidas dos dados gerados por estes sensores (NOVO; PONZONI, 2001).

Nas ciências florestais o sensoriamento remoto tem sido utilizado de diversas formas, como no monitoramento ambiental, na modelagem digital em bacias hidrográficas, florestas plantadas e naturais (MASCARENHAS ET AL, 2008; SOUZA ET AL, 2007; BERRA ET AL, 2012). Um dos grandes desafios, neste sentido, é buscar meios de aumentar a produtividade no setor, possível através do desenvolvimento de técnicas que permitam compreender melhor as relações dos dados obtidos dos sensores e as características biofísicas da vegetação em superfície (COUTO ET AL, 2008; BEZERRA; FILHO, 2009; BERRA ET AL, 2012).

Uma das boas alternativas para sintetizar a resposta à radiação eletromagnética da vegetação em superfície é o uso de índices de vegetação. Estes são técnicas que utilizam relações de bandas específicas, localizadas em faixas do espectro eletromagnético que exercem uma relação intrínseca com pigmentos que participam de processos fotossintéticos, sendo estas faixas principalmente o infravermelho, vermelho, azul e verde. Assim os índices expressam, de forma simples e direta, as informações relacionadas a quantidade de biomassa e parâmetros de crescimento e desenvolvimento vegetal (GITELSON ET AL, 1996; JUNGES ET AL, 2007; HUETE; JUSTICE, 1999; PANZONI, 2001; BORGES, 2015). Além de minimizarem os efeitos negativos causados por fatores externos, como diferenças na data e hora de aquisição das cenas, época do ano e condições atmosféricas (SILVA, 2004; JUSTICE et al, 1998). No entanto, a empregabilidade desse princípio exige uma seleção adequada das faixas e índices a serem utilizados, que deve ser realizada de acordo com as características inerentes à vegetação e ao objetivo da análise (BORGES, 2015).

O objetivo deste trabalho foi avaliar a relação entre a variável diâmetro à altura do peito (DAP) e índices de vegetação em floresta tropical amazônica, para melhor entendimento do potencial de utilização dos índices de vegetação e das diversas ferramentas de sensoriamento remoto, na estimativa do potencial madeireiro em áreas de floresta tropical.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. O Sensoriamento remoto

O sensoriamento remoto pode ser considerado como a tecnologia que possibilita a obtenção de dados da superfície terrestre de forma remota, utilizando-se para isso de sensores que captam as variações de radiação eletromagnética (REM) refletidas ou emitidas pela superfície (FLORENZANO, 2007; MENEZES; ALMEIDA, 2012). A REM é considerada por Alvarenga et al (2003), como sendo o elo entre os sensores remotos e o objeto observado, visto

que cada objeto, por possuir composição físico-química distinta, a reflete, também, de forma distinta. Segundo os mesmos autores, esta energia pode ser de origem natural, como é o caso da radiação solar refletida pelas superfícies, ou de processos físico-químicos em superfície, podendo ser também de origem artificial, quando emitida pelos próprios sensores. Demattê e Nanni (2003), apontam que esta diferença na resposta das superfícies possibilita a diferenciação do objeto e de possíveis variações em sua composição, como por exemplo as variações físicas e/ou fisiológicas da vegetação, ou variações físico-químicas em um corpo d'água (figura 1).

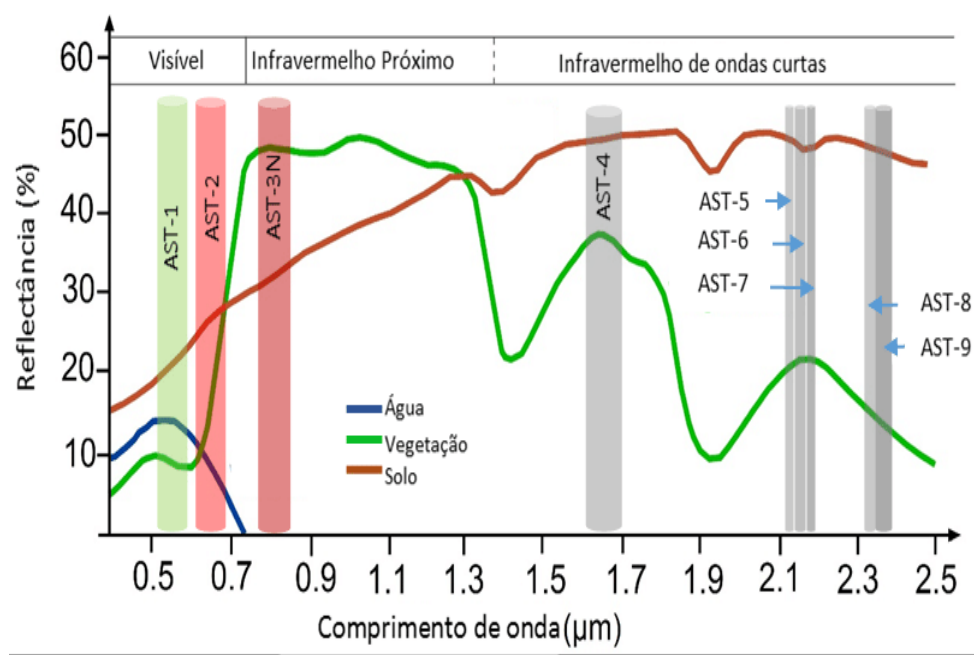


Figura 1. Comportamento espectral dos alvos: água limpa, vegetação sadia e solo exposto seco, com as posições relativas das bandas espectrais do infravermelho próximo e infravermelho de ondas curtas do sensor ASTER.

Fonte: Novais (2017).

Devido às características citadas, a definição do tipo de sensor e do espectro eletromagnético, identificável por ele, tornam-se as características mais importantes a serem definidas ao se projetar um sensor para determinada finalidade, devendo ser selecionada a região do espectro de melhor resposta ao objeto estudado (PARANHOS FILHO, 2008).

2.1.2. Histórico

Segundo Meneses e Almeida (2012), o sensoriamento remoto tem início na década de 1860, quando surgem as primeiras fotografias aéreas realizadas a partir de balões e até mesmo de aves, sendo estas de cunho militar. A partir das décadas de 1910, estas passaram a ser realizadas por meio de aeronaves, até então sempre se utilizando de sensores do tipo câmera (FIGUEIREDO, 2005).

Visto o potencial do sensoriamento remoto como ferramenta de planejamento, nos anos seguintes, houve grande investimento em sensores, sendo já na segunda guerra mundial (1939 - 1945), utilizadas as primeiras tecnologias de radar (FLORENZANO, 2007).

A partir do final da década de 1950, durante a guerra fria, começam a entrar em órbita as primeiras plataformas para fins de espionagem, que, devido ao grande sucesso, levaram ao desenvolvimento dos primeiros satélites para fins diversos, como a série de satélites

meteorológicos Tiros lançada em 1960, que deu origem a uma sequência de outras plataformas nos anos seguintes com diferentes finalidades, como o primeiro satélite de recursos terrestres (ERTS-1) e o primeiro satélite da série Landsat (Landsat-1), em 1972 (GURDES; DA SILVA, 2018).

Através do avanço tecnológico das últimas décadas, hoje temos um grande número de sensores disponíveis e uma conseqüente grande disponibilidade de dados direcionados a diferentes áreas do conhecimento. Esta grande gama de aplicações propiciada pela tecnologia empregada nos sensores possibilita elevada aplicabilidade para o monitoramento de coberturas vegetais, voltando-se, principalmente, para seu comportamento espacial e/ou fisiológico (ABREU; COUTINHO, 2014).

2.1.3. Sensores

Os sensores remotos são dispositivos capazes de detectar a energia eletromagnética proveniente de um objeto, transformá-la em um sinal elétrico e registrá-la, para posteriormente convertê-la em informações que descrevem a resposta espectral do objeto ou superfície analisada (FLORENZANO, 2007).

Existem diversas características inerentes aos sensores que permitem sua classificação. Estes podem ser instalados em plataformas terrestres, aéreas (balões, helicópteros e aviões) e orbitais (satélites artificiais). Podem ser baseados em sistema imageador, quando fornecem como produto uma imagem da área observada, ou não imageador, quando apresentam o resultado em forma de dígitos ou gráficos (MORAES, 2002). Podem ainda ser classificados em sensores passivos, quando dependem de fonte de radiação externa para sua operação, como a radiação solar, ou ativos, quando emitem a sua própria radiação (IBGE, 2001). Outras características que podem ser utilizadas na determinação da qualidade de um sensor são a resolução espectral, radiométrica e temporal.

A resolução espectral refere-se à largura de banda na qual o sensor opera, ou seja, o intervalo espectral no qual são realizadas as medidas, e conseqüentemente a composição espectral do fluxo de energia que é distinguível pelo sensor. Quanto maior for o número de medidas num determinado intervalo de comprimento de onda, melhor será a resolução espectral da coleta (DEMATTÊ; NANNI, 2003). Comparativamente, um sensor tem melhor resolução espectral quanto maior for o número de bandas distinguíveis situadas em diferentes regiões do espectro e quanto menor a espessura de faixa do espectro capturados em cada banda (LIU, 2015).

A resolução radiométrica refere-se capacidade do sistema sensor em detectar e registrar diferenças na energia refletida e/ou emitida pelos elementos em superfície (MORAES, 2002). Maior será a resolução radiométrica, quanto maior for a capacidade do detector de distinguir as nuances de intensidade da radiação refletida e/ou emitida nos diferentes pontos da superfície analisada (FLORENZANO, 2007). Esta característica é expressa em forma de dígitos binários (bits). Por exemplo, o sistema sensor ETM+ do Landsat 7, de 8 bits, distingue até 256 tons distintos de sinais, enquanto que sensores como os presentes em satélites como o Ikonos, de 11 bits, distingue 2048 tons, sendo, portanto, a resolução radiométrica e o nível de contraste das cenas melhor no segundo caso.

Outra qualidade importante para sensores orbitais é a resolução temporal, que pode ser designada como sendo o tempo necessário para que a plataforma retorne ao mesmo ponto da órbita e assim possa realizar novamente medições referentes ao ponto na superfície correspondente. Isso só é possível porque satélites para fins de sensoriamento são programados em uma órbita heliossíncrona, em que o plano de órbita é sempre fixo e ortogonal ao sentido de rotação da Terra. Assim, o satélite sempre passa sobre o mesmo ponto da superfície da Terra no mesmo horário do dia (LIU, 2015). A determinação da resolução temporal é fundamental, podendo variar com o objetivo do sensor (FLORENZANO, 2007; MENESES, 2012).

2..2. Índices de vegetação

Índices de vegetação resultam da combinação de bandas do espectro-eletromagnético, principalmente nas faixas do vermelho e infravermelho próximo, as quais possuem alta relação com a quantidade e o estado da vegetação, sendo as faixas do verde e azul também relevantes (HUETE; JUSTICE, 1999). Estas faixas, segundo Rosa (2003), possuem correspondência com mais de 90% da variação da resposta espectral da vegetação, estando associadas a estruturas das folhas.

Na região do visível, os pigmentos presentes na folha sadia absorvem a energia e refletem apenas 10% da radiação incidente. São eles: clorofila (65%), carotenos (6%) e xantofilas (29%). Como observado na figura 2, esses mesmos pigmentos absorvem radiação da região azul do espectro visível, sendo que a clorofila absorve também na região do vermelho. Estas são duas regiões espectrais necessárias para a fotossíntese. Assim, como a energia do espectro da faixa verde não é utilizada essa reflete a energia pelas folhas originando o seu aspecto de cor verde. O infravermelho próximo é outra faixa do com resposta diferenciada pelas folhas, já que não é utilizada na fotossíntese, caracterizando uma alta reflectância (40 a 60%), alta transmitância (40 a 60%) e baixa absorptância (5 a 10%) (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007; JENSEN, 2011).

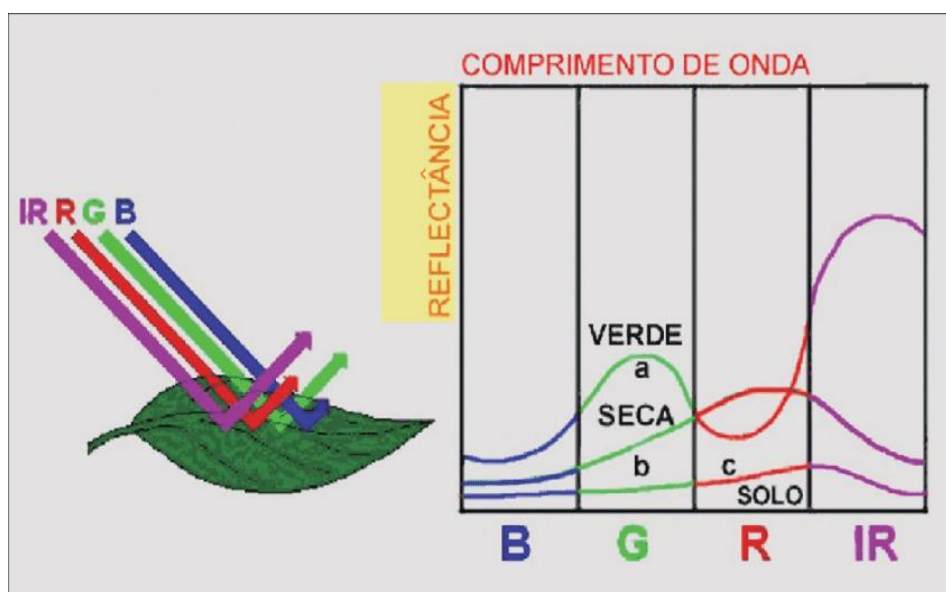


Figura 2. Representação generalizada da assinatura espectral de uma folha verde (a), uma folha seca (b) e da superfície do solo descoberto (c). As letras representam os comprimentos de ondas do azul (B), verde (G), vermelho (R) e infravermelho (IR).

Fonte: Galbieri (2016).

Os índices de vegetação foram desenvolvidos, em sua essência, com a finalidade de extrair as informações da superfície, de forma a discriminar a vegetação, gerando resultados de simples interpretação, assim possibilitando a avaliação de condições da vegetação como sua quantidade e sanidade, utilizando-se do princípio de que as respostas dentro do intervalo espectral utilizado são distintas dependendo das condições da folha, como indica a figura 2 (JACKSON; HUETE, 1991; PONZONI; SHIMABUKURO, 2007). As condições da folha podem variar não só com as condições de solo, ocorrência de doenças e disponibilidade de água ou energia solar, mas variam também de acordo com as fases do ciclo de vida do vegetal e biomassa do indivíduo, o que torna passível a utilização dos índices no estudo destas

características das plantas (EIPHANIO ET AL, 1996; LAMBERS ET AL, 1998; COUTO ET AL, 2008; BERRA 2012).

Em todos os índices, as áreas da cena que correspondem à cobertura vegetal mais densa e em condições fotossintéticas mais eficientes apresentam maiores valores de índice, enquanto as áreas sem cobertura vegetal verde, com cobertura incipiente ou fotossinteticamente pouco eficiente tendem a apresentar valores baixos de índice (MENESES; ALMEIDA, 2012). O resultado é obtido em forma de imagem monocromática, com a gradação de tons de cinza, onde, quanto mais claro o tom de cinza, maior a densidade de vegetação. Os tons de cinzas médios indicam pouca vegetação e tons de cinza totalmente escuros indicam ausência de vegetação, o que só pode ocorrer nas áreas desprovidas de vegetação ou nuvens (JACKSON; HUETE, 1991).

Para confecção dos índices são utilizadas fórmulas matemáticas envolvendo as respostas espectrais para cada faixa do espectro exposta acima. Ao longo dos anos foram desenvolvidos uma série de índices de vegetação que, apesar de se utilizarem das faixas espectrais dentro do mesmo intervalo de resposta, possuem variações em suas fórmulas que permitem sua adaptação a determinadas condições de análise.

O primeiro índice aplicado ao estudo da vegetação, o índice de vegetação da razão simples (Simple Ratio – SR), ou índice de vegetação da razão (ratio vegetation index – RVI) foi desenvolvido por Jordan (1969). Este é obtido pela divisão de valores de reflectância referentes à região do infravermelho próximo por valores correspondentes à região do vermelho (PONZONI; SHIMABUKURO, 2010).

Considerado uma evolução do SR, o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI – Normalized Difference Vegetation Index), proposto por Rouse et al (1973), é o mais difundido e utilizado atualmente, devido a sua versatilidade. Este envolve a razão entre a diferença e a soma das bandas infravermelho próximo e vermelho, onde esses valores variam entre -1 a +1 (PONZONI; SHIMABUKURO, 2010; MENESES; ALMEIDA, 2012).

Outro índice muito utilizado, o Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI - Soil-Adjusted Vegetation Index), é baseado no NDVI, foi proposto por Huete (1988), que após perceber as alterações indesejadas causadas no NDVI quando em média densidade de dossel, propôs melhorar os valores dos índices sem necessidades de medições em campo introduziram a constante “L”. Esta constante tem como função minimizar o efeito do solo no resultado final do índice, com valores que variam entre -1,5 à 1,5. “L” é uma constante empiricamente determinada para minimizar a sensibilidade do índice de vegetação às variações de reflectância dos tipos de solo (HUETE, 1988).

Também baseado no NDVI, o Índice triangular de vegetação (TVI - Triangular Vegetation Index), desenvolvido por Broge e Leblanc (2000), é um índice utilizado em cenas em que a densidade da vegetação é baixa e a diferença normalizada pode resultar em valores negativos. Caso também do índice de vegetação por diferença renormalizada (RDVI-Renormalized difference vegetation index), proposto por Roujean et al (1995).

O Índice de Vegetação Melhorado (EVI - Enhanced Vegetation Index), sugerido por Justice et al (1998) é outro índice importante. Este foi desenvolvido para se trabalhar com dados do sensor MODIS, a bordo dos satélites Terra e Aqua, lançados pela NASA (Agência Nacional Aeroespacial Norte-Americana), otimizando o sinal da vegetação, melhorando a sensibilidade de sua detecção em regiões com maiores densidades de biomassa, e para reduzir a influência do sinal do solo e da atmosfera sobre a resposta do dossel (PONZONI; SHIMABUKURO, 2010).

O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada utilizando a banda verde (GNDVI - Green Normalized Difference Vegetation Index) proposto por Gitelson et al. (1996) é um dos índices de maior aplicabilidade. Este permite analisar melhor a distribuição espacial de indivíduos vegetais na área, estimar a biomassa e estresse vegetal, mapear as diferenças de vigor entre as plantas e otimizar o direcionamento das amostragens e observações de campo,

permitindo melhor avaliação do potencial de produção de determinada área (MACHADO, 2003).

Por último temos o Índice de Vegetação Ajustado para o Solo Otimizado (OSAVI - Optimization of Soil-Adjusted Vegetation Index), uma das principais variáveis do SAVI, o qual foi desenvolvido por Roundeaux et al (1996) com o objetivo de potencializar a correção do efeito solo presente no SAVI.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Área de estudo

A Floresta Estadual do Paru (Flota Paru) é uma Unidade de Conservação (UC) do tipo uso sustentável, criada no ano de 2006 por meio do Decreto nº 2.608/2006, localizada no norte do estado do Pará (PA). A UC é componente de um bloco de UCs, sendo seus limites: Ao norte, a Reserva Biológica (Rebio) Maicuru; Ao sul, a Floresta Nacional (Flona) da Mulata; A sudeste, a Estação Ecológica (Esec) do Jari; A leste, a Reserva de Desenvolvimento Sustentável (RDS) do Rio Uiratapuru; A oeste, a Flota do Trombetas e a noroeste, com a Terra Indígena (TI) Zo'ê e a Esec Grão-Pará. A UC abrange os municípios de Almeirim, Monte alegre, Alenquer, Óbidos e Prainha (SEMA, 2010).

A Flota Paru possui uma área de 3,6 milhões de hectares, sendo a terceira maior unidade de conservação do mundo (SEMA, 2010). A área em estudo é limitada a unidade de produção anual (UPA1) e possui 4,4 mil hectares, estando localizada na parte sul da UC, junto ao rio Muriçu, no município de Almeirim. A área está localizada na latitude de $0^{\circ}58'50.91''$ sul e longitude $53^{\circ}20'23.83''$ oeste.

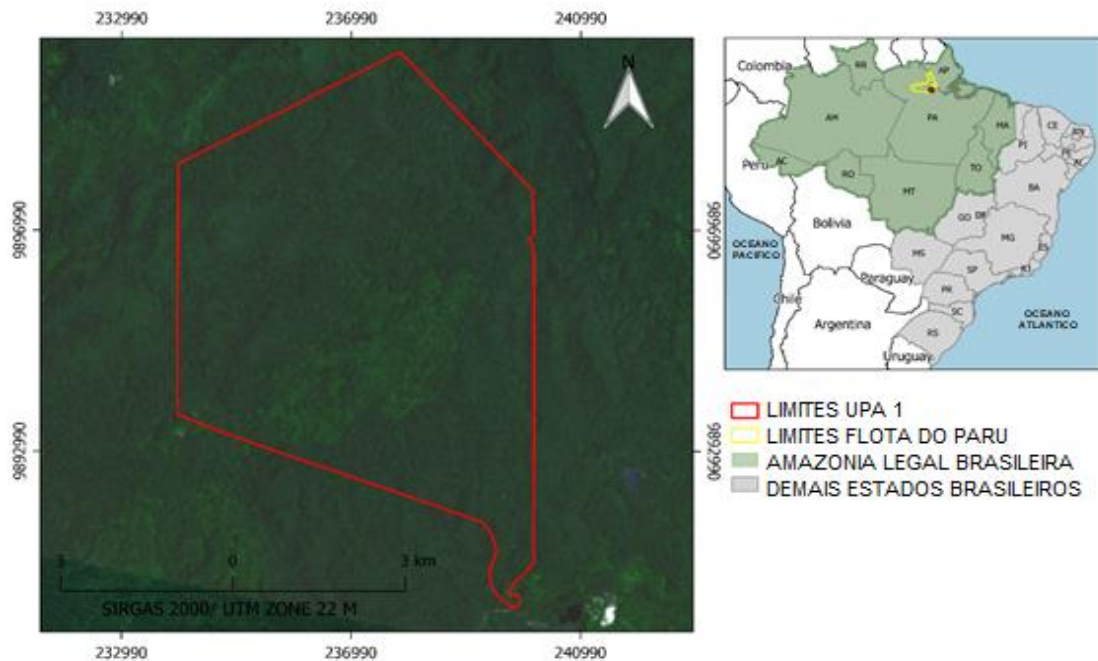


Figura 3. Unidade de produção anual 1, na Floresta Estadual do Paru, no estado do Pará, Brasil.

Alvares et al (2013), ao realizar a classificação climática do Brasil, tomando como base os trabalhos de Koppen (1900;1901), coloca a região como clima tropical de monção (Am), onde precipitação média anual é de 2500 – 2800 mm, sendo o período mais chuvoso de janeiro a junho, quando a precipitação varia entre 250 a 450 milímetros na média mensal, e o período mais seco ocorre entre julho e novembro, quando há diminuição nas taxas de precipitação, que variam entre 50 e 150 mm. A temperatura média anual é sempre superior a 26 °C.

A área referente a UPA1 possui predominância de Argissolo Vermelho Amarelo e altitudes variando entre 100 e 300 metros, em área de relevo dissecado de topo de morro convexo, sendo inserida na zona de Floresta Ombrófila Aberta Submontana (SEMA, 2010). Este tipo de formação florestal, Segundo Veloso et al (1991), é uma vegetação de transição, sendo caracterizada por um clima mais seco e menor fito volume em relação a floresta ombrófila densa, o que traz características marcantes a este tipo de ambiente, como a incidência acentuada de palmeiras, bambus, cipós e, em alguns casos, bananeiras bravas (*Phenakospermum guyanense* Enf). Sua ocorrência está ligada a altitudes entre 100 e 600 metros, principalmente sobre relevo dissecado de topo aguçado em latossolo vermelho amarelo.

3.2.Banco de dados

No ano de 2014 o Governo do Estado do Pará concedeu a AUTEX (Autorização de Exploração Florestal) para a empresa Cemal na exploração da UPA 1, que contém 42 Unidades de Trabalho (UT) na FLOTA do Paru. O inventário florestal foi realizado entre os anos de 2013 e 2014 em toda a área da UPA 1 (Figura 1). Foi considerado como critério de inclusão as árvores com o diâmetro na altura do peito (DAP) ≥ 40 centímetros. Portanto, foram incluídas as árvores a serem exploradas, remanescentes e matrizes, com o total de 99.099 indivíduos arbóreos. As coordenadas coletadas no georreferenciamento das árvores foram obtidas pelo sistema de projeção UTM, no Datum SIRGAS 2000 zona 22 S.

3.3.Base de imagens e pré-processamentos

Como base raster foi utilizada imagem do sensor OLI, do satélite Landsat 8, referente a data de 25 de setembro de 2013. O satélite Landsat 8 foi lançado em 11 de fevereiro de 2013 e através de seu sensor multiespectral OLI disponibiliza 8 bandas espectrais com resolução espacial de 30 metros, incluindo uma banda pancromática na resolução de 15 metros (USGS, 2020). Esta cena foi selecionada devido à menor incidência de nuvens em períodos temporais desejados para análise, evitando, desta maneira, a utilização de imagens capturadas após a extração dos indivíduos mensurados, o que impediria as correlações desejadas entre as variáveis dendrométricas dos indivíduos em campo e os valores gerados nos índices de vegetação. Após sua obtenção, as bandas foram submetidas ao pré-processamento, que consistiu primeiramente na conversão dos valores de Número Digital (ND) em valores de Reflectância e posteriormente na correção atmosférica das bandas utilizadas.

Esta metodologia é utilizada tendo em vista que, através da ferramenta “add raster value to point”, no software Qgis 2.18, os valores calculados do índice foram extraídos sob cada um dos pontos referentes aos indivíduos mensurados em campo. Outra ferramenta utilizada foi o Semi-Automatic Classification Plugin (SCP), complemento desenvolvido para o QGIS que possibilita conversão dos valores de ND em reflectância e correção atmosférica de imagens através do método empírico Improved Dark Object Subtraction (DOS2), desenvolvido por Chavez Jr (1988;1996).

3.4.Cálculo dos índices de vegetação

As bandas espectrais 2 (Azul), 3 (verde), 4 (vermelho) e 5 (infravermelho) foram utilizadas na confecção de diferentes índices de Vegetação, utilizando – se da ferramenta “raster calculator”, no software QGIS 2.18, onde foram empregadas as formulas contidas na Tabela 1. Ao todo foram testados 8 índices, selecionados tendo em vista a compatibilidade das bandas utilizadas com o sensor OLI.

Tabela 1. Relação de índices de vegetação utilizados e suas bandas. ρ = Reflectância; NIR = Infravermelho próximo; RED = Vermelho; GREEN = Verde; BLUE = Azul.

Índice de vegetação	Equação	Referência
Ratio Vegetation Index	$RVI = \frac{\rho NIR}{\rho RED}$	Jordan (1969)
Normalized Difference Vegetation Index	$NDVI = \frac{\rho NIR - \rho RED}{\rho NIR + \rho RED}$	Rouse et al. (1973)
Soil Adjusted Vegetation Index	$SAVI = \frac{\rho NIR - \rho RED}{\rho NIR + \rho RED + L} \cdot (1 + L)$	Huete (1988)
Renormalized Difference Vegetation Index	$RDVI = \frac{\rho NIR - \rho RED}{\sqrt{\rho NIR + \rho RED}}$	Roujean et al. (1995)
Green Normalized Difference Vegetation Index	$GNDVI = \frac{\rho NIR - \rho GREEN}{\rho NIR + \rho GREEN}$	Gitelson et al. (1996)
Optimization of Soil-Adjusted Vegetation Index	$OSAVI = (1 + 0,16) \frac{\rho NIR - \rho RED}{\rho NIR + \rho RED + 0,16}$	Rondeaux et al. (1996)
Enhanced Vegetation Index	$EVI = 2,5 \frac{\rho NIR - \rho RED}{\rho NIR + 6\rho RED - 7,5\rho BLUE + 1}$	Justice et al. (1998)
Triangular Vegetation Index	$TVI = 60(\rho NIR - \rho GREEN) - 100(\rho RED - \rho GREEN)$	Broge and Leblanc (2000)

3.5.Classificação dos indivíduos

Como variável dendrometria base para as análises foram utilizados os valores de Diâmetro a Altura do Peito (DAP). Esta escolha está relacionada à confiabilidade e importância deste tipo de dado, por ser de medição direta, visto que dados como a altura dos indivíduos são estimados de maneira menos precisa em florestas tropicais e que as equações de volume

generalistas para florestas nativas tendem a possuir menor precisão devido a heterogeneidade do povoamento (CAMPOS ET AL, 2001).

Ao todo foram amostrados 99,099 indivíduos arbóreos, que, por meio do método estatístico, foram classificados em 11 classes de diâmetro, com amplitude de 15 cm, abrangendo o menor limite superior de 55 cm e o maior limite superior de 190 cm, sendo a última classe abrangente dos indivíduos com DAP superior a 190 cm e inferior a 280 cm (figura 4).

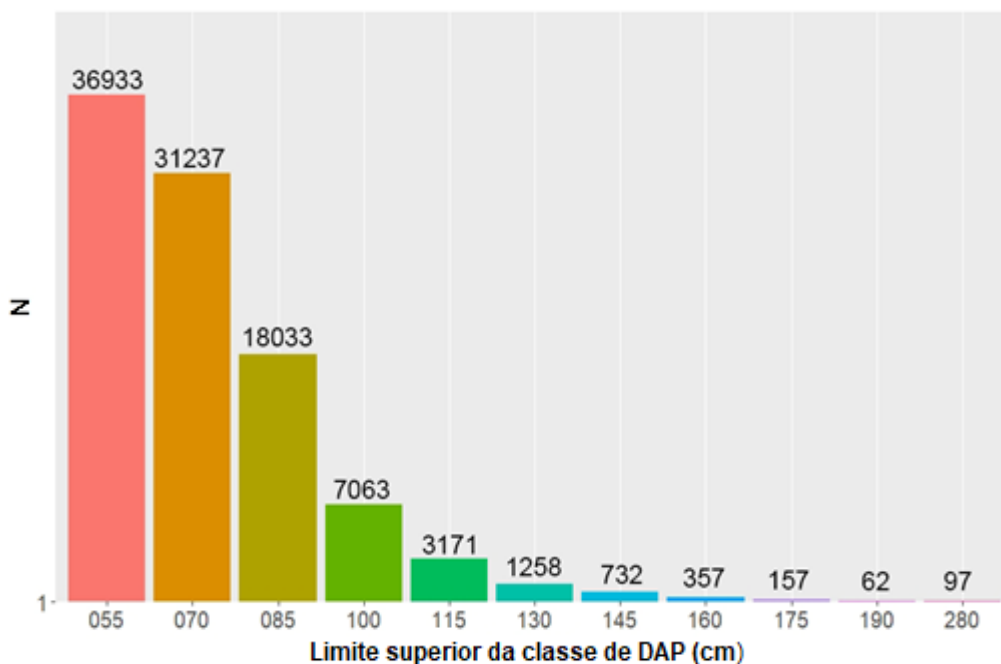


Figure 4. Representação do número de indivíduos (N) por classe de DAP.

3.6. Processamento e geração de resultados

Após a classificação dos indivíduos de acordo com seu DAP, foi realizado o cálculo da média dos índices de cada uma das classes, desvio padrão e coeficiente de variação. As médias dos índices em cada uma das classes foram então correlacionadas com seus respectivos centros de classe, utilizando-se da correlação de Pearson (ρ). Segundo Stanton (2001), o coeficiente de correlação de Pearson (ρ) é uma medida de associação linear entre variáveis. Este mede o grau da correlação entre duas variáveis de escala métrica, onde ρ corresponde a valores entre -1 e 1. Uma correlação perfeita e positiva entre as duas variáveis seria $\rho = 1$. Ao assumir o valor -1 a correlação entre as duas variáveis é perfeita e negativa. Quando as duas variáveis não dependem linearmente uma da outra ρ tende a zero.

Fonte: Adaptado de Lapointe (1992).

Tabela 2. Classes de correlação de Pearson sugeridas por Lapointe (1992).

Valores de ρ	Classificação
$>0,9$	correlação muito forte
$0,7 - 0,9$	correlação forte
$0,5 - 0,7$	correlação moderada
$0,3 - 0,5$	correlação fraca
$0 - 0,3$	correlação desprezível

Foi realizado ainda o teste Shapiro - Wilk para teste do tipo de distribuição dos valores de índice obtidos. Após verificado que não ocorre a distribuição normal dos dados, foi empregado o teste não paramétrico de Kruskal – Wallis como teste de médias, afim de verificar a existência de diferença estatística entre as classes nos diferentes índices. Valores de P inferiores a 0,05 nos dois testes indicam a existência de distribuição não normal dos dados no teste de Shapiro - Wilk e diferença estatística entre ao menos duas das classes em cada índice, no caso do teste de Kruskal – Wallis. Os procedimentos foram realizados através do programa R 1.3.95 (R Core Team, 2019), utilizando os pacotes *dplyr* e *rstatix*.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Análise do Comportamento dos valores de índice em relação ao DAP

Os índices apresentaram comportamento muito parecido entre si (figuras 5 e 6). Esta semelhança pode ser explicada pelo fato destes se apropriarem do mesmo princípio, que consiste na utilização de bandas espectrais posicionadas em faixas espectrais cuja a resposta é comprovadamente associada com a atividade fotossintética das plantas. Para isso, as faixas espectrais utilizadas neste tipo de índice devem estar situadas entre as faixas do vermelho (Red) e Azul (Blue), que possuem comportamento de absorção pelas folhas, e as faixas do infravermelho próximo (NIR) e verde (Green), que possuem comportamento diferenciado de reflectância em relação a estas estruturas (HUETE; JUSTICE, 1999). Assim, nos diferentes índices de vegetação, as áreas da cena que correspondem à cobertura vegetal mais densa e em condições fotossintéticas mais eficientes apresentam maiores valores de reflectância, enquanto as áreas sem cobertura vegetal verde, com cobertura incipiente ou fotossinteticamente pouco eficiente tendem a apresentar valores baixos de reflectância (MENESES; ALMEIDA, 2012). Desta maneira os índices tendem a possuir comportamento semelhantes, porém com particularidades individuais pontuais e valores distintos entre si, já que variam bandas e razões.

Observa-se que as classes de maior DAP tendem a apresentar valores de índices também maiores, principalmente a partir da classe de 100cm no caso do NDVI e RVI e 85 cm nos demais casos (figuras 5 e 6), indicando existência de correlação positiva entre os dados. Tomando como base o NDVI e fazendo analogia a culturas anuais, de mais rápido crescimento e fácil monitoramento, podemos explicar este comportamento. Um dos trabalhos que nos ajuda a entender este fato é o de Epiphanyo et al (1996), que relacionou o comportamento do NDVI ao longo do desenvolvimento da planta de trigo, mostrando que os valores do índice são próximos de 0,5 no início do ciclo e crescentes até atingirem um máximo e se estabilizarem em torno de 0,8 a 0,9. Os resultados indicam que a estabilização, que pode ser entendida como o máximo acúmulo de biomassa na parte aérea, ocorre já a partir do alongamento do fuste. No caso de culturas anuais, no momento da maturação fisiológica os valores voltam a decrescer em função da senescência foliar devido a translocação de nutrientes para o grão. Como as espécies analisadas são na totalidade perenes e não caducifólias, a fase de declínio das funções fisiológicas e consequente diminuição dos valores dos índices tende a ocorrer por motivo distinto e tardiamente em relação a culturas anuais, podendo ser observada, de forma semelhante a estas, apenas nos indivíduos no fim do ciclo de vida, ou em ocasiões aleatórias de enfermidade (ALENCAR, 1990).

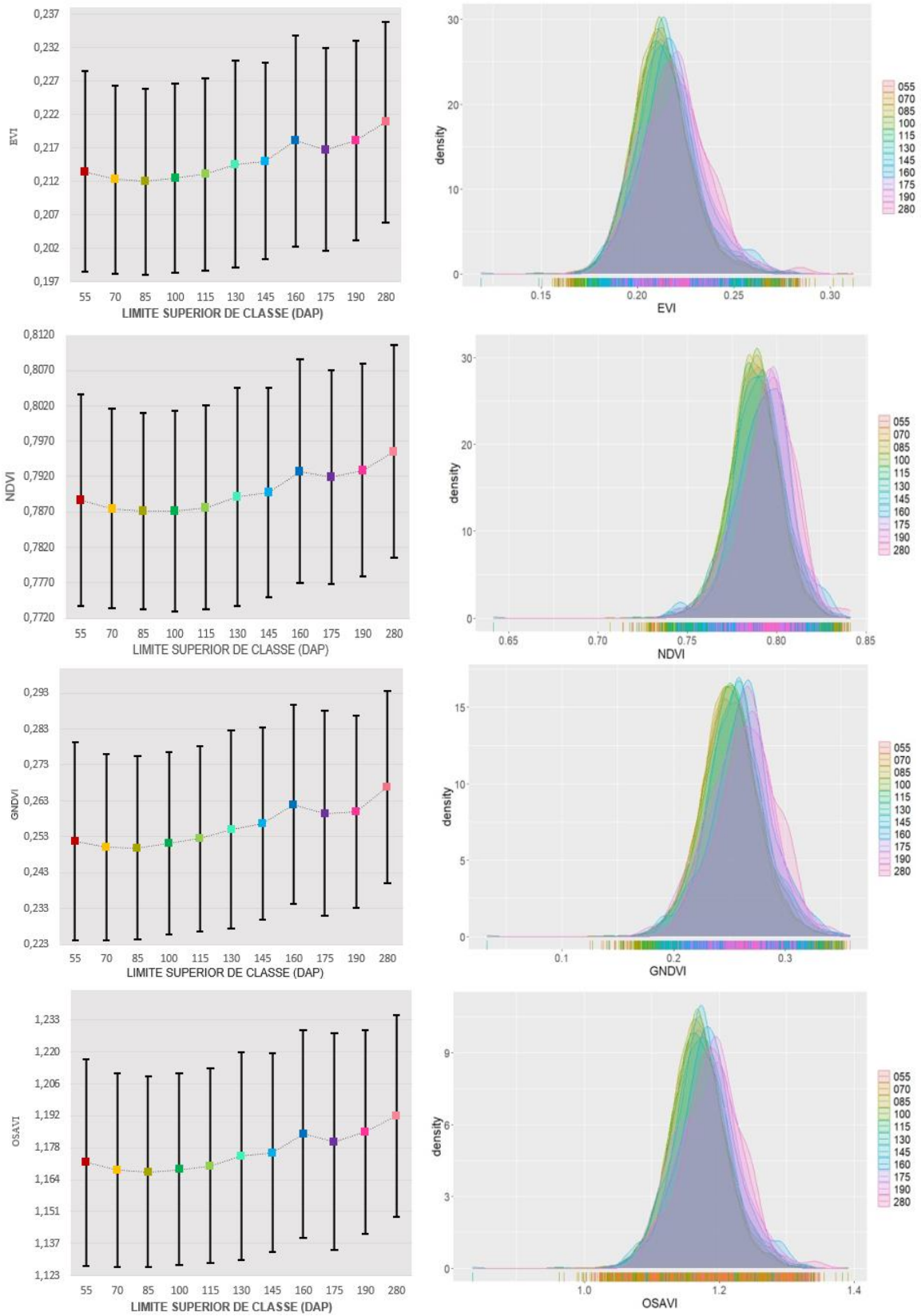


Figure 5. Gráficos de tendência e boxplots dos índices de vegetação para cada classe de diâmetro e densidade de distribuição de cada classe de diâmetro para os índices EVI, NDVI, GNDVI e OSAVI.

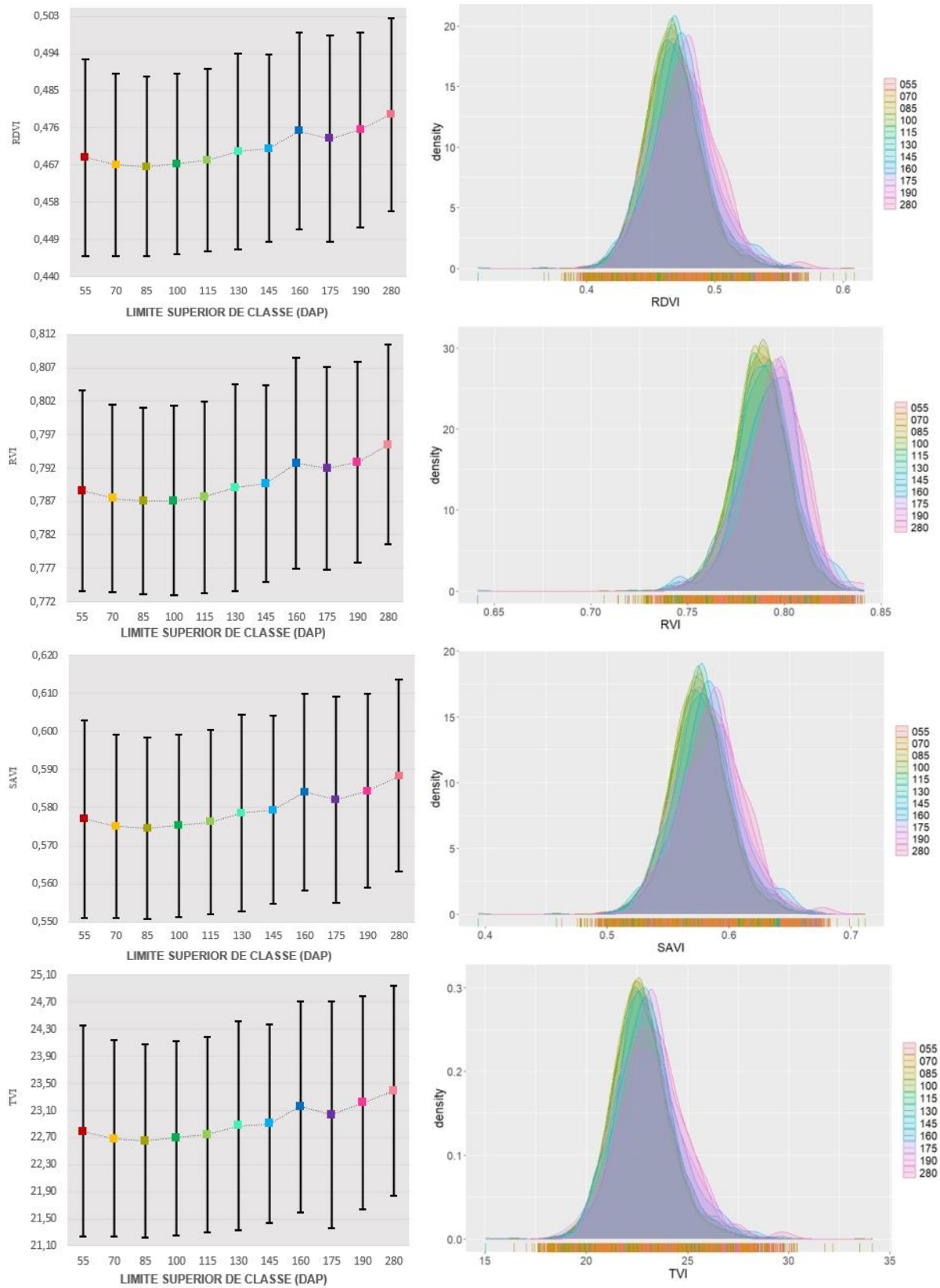


Figure 6. Gráficos de tendência e boxplots dos índices de vegetação para cada classe de diâmetro e densidade de distribuição de cada classe de diâmetro para os índices RDVI, RVI, SAVI e TVI.

Trabalhos como os de Berra (2012) e Couto et al (2008), que buscaram testar as correlações entre parâmetros biofísicos do fuste e índices de vegetação, obtiveram comportamentos semelhantes na distribuição de dados, encontrando correlações positivas entre as variáveis. Esse comportamento ocorre pelo fato de que a taxa fotossintética, que é um dos principais parâmetros na quantificação de um índice de vegetação, está relacionada principalmente à quantidade de área foliar disponível para a interceptação de luz e alocação da biomassa (LAMBERS ET AL, 1998). Como indivíduos arbóreos apenas desenvolvem maior diâmetro de fuste para suportar a parte aérea mais volumosa (NUTTO ET AL, 2001), valores de índice tendem a se tornar proporcionais a parâmetros biofísicos do fuste.

É importante frisar, porém, que a biomassa da copa não é o único fator que interfere nos valores de índice, sendo a disponibilidade de água, fertilidade e tipo do solo, fitossanidade e outros, fatores relevantes (PONZONI, 2001). Todavia, estes passam a ser diluídos devido a sua aleatoriedade quanto as classes de DAP, quando não persistentes em determinada área. Já quando existe a persistência, indivíduos em ambientes constantemente sob estas condições tendem a ter seu fenótipo alterado, como explicam Santo et al (2002) e Stallins (2006) em seus trabalhos. Assim dificilmente alcançam elevados valores das variáveis em questão e tendem a estar presentes em classes inferiores, ainda mantendo o comportamento esperado dos dados (HUSCH ET AL, 1982). Já o declínio dos processos fisiológicos em indivíduos próximos ao final do ciclo de vida, por se concentrar em classes mais elevadas de DAP, pode causar uma diminuição nos valores de índice nestas classes, porém, este efeito é muito dependente da espécie e é observado em classes restritas de elevado DAP, sendo dificilmente observados em classes muito amplas. Este tipo de processo é caracterizado por Robert (2003), como antecessor ao que ele chama de mortalidade primária, que está diretamente associado a elevados valores de DAP e senilidade destes indivíduos. Quanto à correlação negativa observada na primeira metade da curva, esta pode ser relacionada aos erros intrínsecos às características do dossel quando observados através de sensor orbital. Isso porque, como mostra o trabalho de Oliveira (1980), DAPs menores indicam menor altura, sendo, por este motivo, os indivíduos destas classes dominados por indivíduos de classes superiores. Assim, estes possuem, por vezes, suas copas sobrepostas, o que tende a tornar os valores destas classes, quando obtidos através destes sensores, superestimados.

Outro comportamento comum em todos os índices é a variação muito pequena dos dados, que tende refletir numa diferença pequena do valor dos índices entre as classes de DAP. Segundo Freeman et al (2003), quando em condições de maior cobertura vegetal do solo, como na área em questão, a tendência é a ocorrência de um pico de absorção na banda do vermelho. Quando isso ocorre, índices de vegetação tendem a se tornar menos sensíveis às alterações de biomassa, indicando que quando os valores médios para os índices na área são altos, a variação de parâmetros biofísicos, ou de produtividade em um valor específico dos índices pode também ser alta.

4.2. Análise estatística e de correlação dos dados

Apesar da diferença nos CVs médios (%) entre os índices, quando foi realizado o teste de Shapiro - Wilk, que comprovou a não normalidade na distribuição dos dados ($P = 2,057E-69 < 0,05$) e posteriormente o de Kruskal-Willis, todos os índices tiveram bom desempenho na correlação, onde os valores de P sempre abaixo de $2,2e-16 (< 0,05)$, indicam a existência de diferença estatística entre pelo menos duas das classes em cada índice.

Como observado na tabela 3, no geral todos os índices de vegetação testados apresentaram-se eficientes, já que de acordo com a classificação sugerida por Lapointe (1992) todos apresentam correlação forte ou muito forte, variando de 88,73% no caso do NDVI e RVI, que são os únicos classificados como correlação forte (70-90%), à 92,20% no caso do GNDVI,

que como os demais índices é classificado como de correlação muito forte (>90%). apesar de estarem em diferentes classes, a diferença na correlação é de apenas 3,5% entre os índices.

Tabela 3. Valores de média, desvio padrão médio, coeficiente de variação médio e correlação de Pearson dos índices de vegetação.

Índice de vegetação	Média	Desvio padrão médio	Coeficiente de variação médio (%)	Correlação de Pearson (%)
NDVI	0,7899	0,0147	1,8704	88,73
SAVI	0,5795	0,0250	4,3276	90,57
RVI	0,7899	0,0147	1,8704	88,73
EVI	0,2151	0,0159	7,4090	90,36
TVI	22,9203	1,5189	6,6252	90,05
GNDVI	0,2559	0,0267	10,4642	92,20
RDVI	0,4711	0,0230	4,8955	90,63
OSAVI	1,1762	0,0433	3,6876	90,38

A diferença na correlação é acompanhada por uma grande diferença no grau de dispersão dos valores dos índices dentro das classes de DAP (tabela 3). Nesse caso, a maior diferença também se encontra entre o NDVI / RVI e o GNDVI, que obtiveram 1,87% e 10,46% CV (%), respectivamente (Tabela 3). Segundo a classificação proposta por Gomes (1990), os coeficientes de variação são considerados baixos quando menores que 10% e moderados entre 10 e 20%, assim, dentre todos os índices, o GNDVI é o único classificado como moderado. Apesar da maior variação dos seus dados, estando ainda em uma faixa aceitável, o GNDVI é destacado como o melhor índice neste estudo, já que possui a melhor correlação, o que provavelmente está relacionado a menor interferência quanto ao fenômeno de sobreposição de copas em relação aos demais, com 10, 73% de variação média entre as classes de 55 e 100 cm, onde ocorre o fenômeno, uma diferença de 5,95% para o SAVI, que obteve a segunda menor variação, o que segundo Dalmolin et al (2005), pode ser explicado pelo fato de o GNDVI possuir maior sensibilidade a características de camadas inferiores do dossel, podendo ser influenciado por estas características e, desta forma, expressar valores mais próximos ao esperado.

Já a variação entre as classes nos diferentes índices é muito semelhante, pelo fato de se utilizarem da mesma base de dados (Figura 7). Outro fato observado é a variação no CV (%) entre as classes de DAP proporcional ao CV (%) médio apresentado pelos índices, assim a variação dos valores de CV (%) não é influenciada pelo número de amostras (N) de cada classe, o que indica que o N não é um fator de interferência no grau de dispersão dentro das classes.

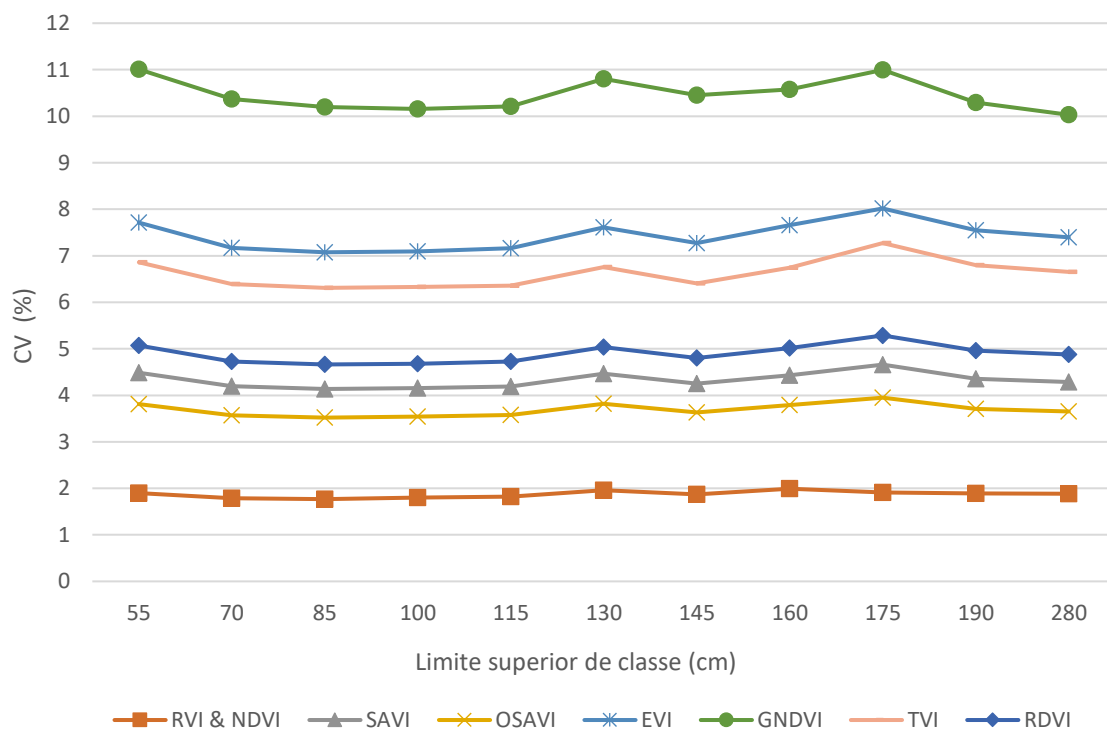


Figura 7. Representação do número de amostras (N) e valores do Coeficiente de variação (CV%) por classe de DAP.

A variação no grau de dispersão dos dados apresentada na figura 7 pode ter explicação semelhante a encontrada no tópico anterior, como a diminuição gradativa e proporcional do CV (%) entre a classe de 55 cm e 85 cm, que pode ser dada por uma também gradativa diminuição da sobreposição de copas de acordo com o aumento do DAP, como demonstra Oliveira (1980). O aumento do CV (%) nas classes de 130 e 175 cm parece ser uma resposta aleatória, referente as características intrínsecas a vegetação no local.

5. CONCLUSÃO

Todos os índices apresentaram-se com o comportamento muito semelhante, demonstrando uma boa eficiência na correlação com o DAP, categorizando-se, em sua maioria, na classe de muito forte correlação. Além disso, todos apresentaram diferença estatística entre ao menos duas de suas classes, apesar da diferença elevada na dispersão dos dados. Porém é importante destacar que, apesar de uma correlação positiva predominante, as características intrínsecas ao povoamento e ao tipo de sensor utilizado, principalmente com relação sobreposição de copas em classes inferiores e respostas aleatórias intrínsecas a área, apresentam-se como possíveis obstáculos na obtenção de dados mais consistentes nas condições encontradas. Contudo, alguns índices podem apresentar características interessantes na obtenção destes dados, como é o caso do GNDVI, que demonstrou boa capacidade em contornar alguns destes obstáculos.

É evidente, portanto, que as técnicas que se utilizam de índices de vegetação possuem potencial para predição do potencial madeireiro em áreas de floresta tropical. Contudo a exploração de novos sensores, bandas, dados de campo e o desenvolvimento de novas técnicas,

que permitam a resolução dos obstáculos encontrados neste trabalho, tornam-se necessárias, tendo em vista melhorias na eficiência deste tipo de procedimento e a consequente viabilização de seu uso.

6. REPEFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, K. M. P.; COUTINHO, L. M. Sensoriamento remoto aplicado ao estudo da vegetação com ênfase em índice de vegetação e métricas da paisagem. **VÉRTICES**, Campos dos Goytacazes/RJ, v.16, n.1, p. 173-198, jan./abr. 2014.

ALENCAR, J. C. Interpretação fenológica de espécies lenhosas de campina na reserva biológica de campina do INPA ao norte de Manaus. **KTA AMAZÔNICA**. v. 20, n.1, p.145-183, 1990.

ALVARENGA, B. S; ARCO, E.; ADAMI, M.; FORMAGGIO, A. R. **O Ensino de conceitos e práticas de espectrorradiometria laboratorial: Estudo de caso com solos do estado de São Paulo**. Anais XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR, 2003, p. 739-747. Belo Horizonte, MG.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; MORAES GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

BERRA, E. F; BRANDELERO, C.; PEREIRA, R.S.; SEBEM, E.; GOERGEN, L. C. G; BENEDETTI, A. C. P.; BLIPPET, D. 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.

BEZERRA, B.G. E; FILHO, J.F. Análise de crescimento da cultura do algodoeiro irrigada com águas residuárias. **Revista Ciências Agrônômicas**, Fortaleza, v. 40, n. 3, p. 339-345, jul-set, 2009.

BORGES, K.L.C. **Dados espectrorradiométricos de campo e índices de vegetação para estimar porcentagem de cobertura vegetal verde de pastagens cultivadas**. 2015. Dissertação (Pós-graduação em Geociências Aplicadas) - Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

BROGE, N.H.; LEBLANC, E. Comparing prediction power and stability of broadband and hyperspectral vegetation indices for estimation of green leaf area index and canopy chlorophyll density. **Remote Sensing of Environment**, Beltsville, MD, USA, v. 76, n. 2, p. 156–172, 2000.

CAMPOS, J.C.C.; LEITE, H.G; DA SILVA, G.F.; SOARES, C. P. B; CARNEIRO, J.A. Estimação de volumes do tronco de arvores de povoamentos mistos. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.25, n.4, p.471-480, 2001.

CHAVEZ JUNIOR, P.S. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. **Remote Sensing of Environment**, Flagstaff, v. 24, p. 459-479, 1988.

CHAVEZ JUNIOR, P.S. Image-based atmospheric corrections – revisited and improved. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, Flagstaff, v. 62, p. 1025-1036, 1996.

COUTO, H.T.Z.; JUSTO, G. C; POLIZEL, J.L.; FILHO, D. F. S. Videografia digital na estimativa de carbono em florestas implantadas com espécies nativas. *Ambiência – Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais*, Guarapuava, v. 4, Ed. Especial, p. 125-135, 2008.

DALMOLIN, R. S. D.; GONÇALVES, C. N.; KLAMT, E.; DICK, D. P. Relação entre os constituintes do solo e seu comportamento espectral. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 35, n. 2, p. 481-489, 2005.

DEMATTÊ, J.A.M.; NANNI, M.R. Weathering sequence of soils developed from basalt as evaluated by laboratory (IRIS), airborne (AVIRIS) and orbital (TM) sensors. *International Journal of Remote Sensing*, v.24, p.4715- 4738, 2003.

EIPHANIO, J.C.N.; ALMEIDA JUNIOR, A.C.; FORMAGGIO, A.R. **Desenvolvimento do trigo avaliado com dois Índices de Vegetação**. Anais IIX Simpósio brasileiro de sensoriamento remoto, São José dos Campos, p.19-24, 1996. Trabalho apresentado no 8ª Simpósio brasileiro de sensoriamento remoto, 2001, Salvador, BA.

FIGUEIREDO, D. **Conceitos Básicos de Sensoriamento Remoto**. São Paulo, 2005. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conabweb/download/SIGABRASIL/manuais/conceitos_sm> Acesso em 16 de maio de 2014.

FLORENZANO, T.G. **Iniciação em sensoriamento remoto**. Oficina de textos, 2007.

FREEMAN, K.W; RAUN, W.R; JOHNSON, G.V; MULLEN, W; RAUN, W.R; JOHNSON, G.V; MULLEN, R.W; STONE, M.L; SOLIE, J. B. Late-season Prediction of Whet Grain Yield And Grain Protein. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. Philadelphia, v. 34, n. 13, p. 1837-1852, 2003.

GALBIERI, R.; VAZ, C. M. P.; SILVA, J. F. V.; ASMUS, G. L.; CRESTANA, S.; MATOS, E. S.; MAGALHÃES, C. A. S. **Influência dos parâmetros do solo na ocorrência de fitonematoides. Nematoides fitoparasitas do algodoeiro nos cerrados brasileiros: Biologia e medidas de controle**. Instituto Mato-Grossense do Algodão, Cuiabá, 2016.

GITELSON, A. A.; KAUFMAN, Y. J.; MERZLYAK, M. N. Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS. *Remote Sensing of Environment*, Karlsruhe, Germany v. 58, n. 3, p. 289–298. dez, 1996.

GOMES, F.P. **Curso de estatística experimental**. São Paulo: Nobel, 1990.

GUEDES, J.; DA SILVA, S. M. P. Sensoriamento remoto no estudo da vegetação: Princípios físicos, sensores e métodos. *Acta Geográfica*, v. 12, n. 29, p. 127-144, Dez, 2018.

HIGUCHI, N.; SANTOS, J.; RIBEIRO, R. J.; MINETTE, L.; BIOT, Y. Biomassa da parte aérea da vegetação de floresta tropical úmida de terra-firme da Amazônia Brasileira. *Acta Amazônica*, Manaus, v. 28, p. 153-165, 1998.

HUETE, A. R.; JACKSON, R. D.; POST, D. F. Spectral response of plat canopies with different soil background. *Remote Sensing of Environment*, v.17. n.1. pp. 37-53, 1985.

HUETE, A.R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*. v. 25, n. 52, p. 295–309, 1988.

HUETE, A.; JUSTICE C. MODIS Vegetation Index (MOD 13) Algorithm Theoretical Basis. Document. *NASA*, v. 3, p.1-120, 1999.

- HUSCH, B.; MILLER, I.C.; BEERS, T.W. **Forest mensuration**. Santa Maria: UFSM/FATEC/CEPEF, 1992.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Introdução ao processamento digital de imagens**. Primeira divisão de Geociências do Nordeste. Rio de Janeiro: IBGE, 2001.
- JACKSON, R.D.; HUETE, A. R. Interpreting vegetation indices. **journal of preventive veterinary medicine**. v.11, p.185-200, 1991.
- JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em Recursos Terrestres**. Tradução de J. C. N. Epiphânio. Ed. Parênteses, São José dos Campos, SP. 2011.
- JORDAN, C.F. Derivation of leaf area index from quality of light on the forest floor. **Ecology**, v. 50, n. 4, p. 663–666, 1969.
- JONES, M.O.; KIMBALL, J.S.; NEMANI, R.R. Asynchronous Amazon forest canopy phenology indicates adaptation to both water and light availability . **Environmental Research Letters**. V. 9, n. 12, p. 124021, 2014.
- JUNGES, A.H.; ALVES, G.; FONTANA, D.C. Estudo indicativo do comportamento do NDVI e EVI em lavouras de cereais de inverno da região norte do Estado do Rio Grande do Sul, através de imagens MODIS. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, p. 241-248, abril. 2007. Trabalho apresentado no 13ª simpósio brasileiro de sensoriamento remoto,2007, Florianópolis, SC.
- JUSTICE, C.O.; VERMOTE, E.F.; TOWNSHEND, J.R.G.; DEFRIES, R.; ROY, P.D.; HALL, D.K.; SALOMONSON, V.; PRIVETTE, J.L.; RIGGS, G.; STRAHLER, A.; LUCHT, W.; MYNENI, R.B.; KNYAZIKHIN, Y.; RUNNING, S.W.; NEMANI, R.R.; WAN, Z.; HUETE, A.R.; LEEUWEN, W.V.; WOLFE, R.E.; GIGLIO, L.; MULLER, J.P.; LEWIS, P.; BARNESLEY, M. The moderate resolution imaging spectroradiometer (MODIS): land remote sensing for global change research. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 36, n. 4, p. 1228-1247, 1998.
- KOPPEN, W. Versuch einer Klassifikation der Klimate, vorzugweise nach ihren Beziehungen zur Pflanzenwelt, Hamburg, **Geogr**. v. 6, p. 657–679, 1900.
- KOPPEN, W. Versuch einer Klassifikation der Klimate, vorzugweise nach ihren Beziehungen zur Pflanzenwelt, **Meteorol**, Hamburg. v. 18, p. 106–120, 1901.
- LAMBERS, H.; CHAPIN, F.S.; PONS, T.L. **Plant physiological ecology**. Springer-Verlag, New York, 1998.
- LAPOINTE, F.J.; LEGENDRE, P. Statistical significance of the matrix correlation coefficient for comparing independent phylogenetic trees. **Systematic Biology**. V. 41, n. 3, p. 378-384, 1992.
- MACHADO, H. M. **Determinação da biomassa de cana-de-açúcar considerando a variação espacial de dados espectrais do satélite LANDSAT 7 – ETM+**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2003.
- MASCARENHAS, L.M.A.; FERREIRA, M.E.; FERREIRA, L.G. Sensoriamento remoto como instrumento de controle e proteção ambiental: Análise da cobertura vegetal remanescente na bacia do rio Araguaia. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 21, n. 1, p. 5-18, ABR, 2009.

- MENESES, P. R.; ALMEIDA T. **Introdução ao processamento de imagens de Sensoriamento Remoto**. Universidade de Brasília – UNB. Brasília, 2012.
- MORAES, E. C. **Fundamentos de Sensoriamento Remoto**. São José dos Campos –SP: INPE, 2002.
- NOVAIS, J. J. **Mapeamento digital de solos da microbacia do Ribeirão Extrema, DF, a partir de imagens multitemporais ASTER e Biblioteca Espectral**. 2017. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília. 2017.
- NOVO, E. M. L. M.; PONZONI, F.J. **Introdução ao sensoriamento remoto**. São José dos campos, 2001.
- NUTTO, L; TONINI, H; BORSOI, G.A; MOSKOVICH. A. F; SPATHELF, P. Utilização dos parâmetros da copa para avaliar o espaço vital em povoamentos de Pinus Elliottii Engelm. **Bol. Pesq. Fl.**, Colombo, n. 42, p. 123-138. Jan- jun, 2001.
- OLIVEIRA, Y.M.M. **Correlações entre parâmetros dendrométricos em araucaria angustifolia, utilizando fotografias aéreas. Dissertação de mestrado**. 1980. Dissertação (pós graduação em engenharia florestal) – Universidade federal do Paraná, Curitiba, 1980. Disponível em: <https://www.acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/28891/D%20-%20YEDA%20MARIA%20MALHEIROS%20DE%20OLIVEIRA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em 05 nov. 2021.
- PARANHOS-FILHO, A. C.; LASTORIA, G.; TORRES, T. G. **Sensoriamento Remoto ambiental aplicado: Introdução as Geotecnologias**. Ed. UFMS, Campo Grande/MS, 2008.
- PONZONI, F. J. Comportamento Espectral da Vegetação. In: MENESES, P. R; NETTO, J. S. M. (org). **Sensoriamento remoto, reflectância dos alvos naturais**. Brasília – DF: Editora Universidade de Brasília - UNB, Embrapa Cerrados. p 157-199, 2001.
- PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação**. São José dos Campos/SP: INPE, 2010.
- R CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing**. Vienna, Austria, 2020. Disponível em: <http://www.R-project.org>. Acesso em 24, Jul. 2020.
- ROBERT, A. Simulation of the effect of topography and tree falls on stand dynamics and stand structure tropical forests. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v. 167, n. 3, p. 287-303, 2003.
- RONDEAUX, G.; STEVEN, M.; BARET, F. Optimization of soil-adjusted vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*. v. 55, p. 95–107, 1996.
- ROSA, R. **Introdução ao Sensoriamento Remoto. Uberlândia**. EDUFU, 2009.
- ROUSE, J.W.; HASS, R.H.; SHELL, J.A.; DEERING, D.W. Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. **Proceedings Of Third ERTS Symposium**, Washington, v.1, p. 10–14, 1973.
- ROUJEAN, J.; BREON, F. Estimating PAR absorbed by vegetation from bidirectional reflectance measurements. **Remote Sensing of Environment**. v. 51, p. 375–384, 1995.
- SANTO F. B. E.; FILHO A. R. T. O., MACHADO E. L. M.; SOUZA J. S.; FONTES M. A. L.; MARQUES J. J. G. S. Variáveis ambientais e distribuição de espécies arbóreas em um

remanescente da floresta estacional semidecídua montana no campus da Universidade Federal de Lavras. MG. **Acta Botânica Brasileira**, v. 16, n. 3, p. 331- 356, 2002.

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE. **Plano de Manejo da Floresta Estadual do Paru**. Belém: SEMA- Imazon, 2010.

SILVA, E. T. J. B. **Utilização dos índices de Vegetação do Sensor MODIS para Detecção de Desmatamentos no Cerrado: Investigação de Parâmetros e Estratégias**. 2004. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade de Brasília. Brasília, Brasília, 2004.

SOUZA, C. C.; MOREIRA, A. 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 Floretal*, Santa Maria, v. 17, n. 4. out-dez, 2007.

STANTON, J. M.; GALTON, P. A brief history of linear regression for statistics instructors. **Journal of Statistical Education**.v. 9,n.3, p. 186-191, 2001. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/10691898.2001.11910537?needAccess=true>. Acesso em 05 nov. 2021.

STALLINS J. A. Geomorphology and ecology: Unifyling themes for complex systems in biogeomorphology. **Geomorphology**. V. 77, n.3, p. 207-216, 2006.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (ORG.). **Landsat 8**. USGS. Disponível em: <http://landsat.usgs.gov/landsat8.php>. Acesso em. 06 jun, 2020.

VANCLAY, J. K. **Techniques for modelling timber yield from indigenous forests with specialreference to Queensland**. 1984. Dissertação (Mestrado em ciências florestais) - Linacre College, Oxford. University. Oxford, 1983.

VELOSO, H. P.; RANGEL FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: IBGE, 1991.