



**ESTIMATIVA VOLUMÉTRICA PARA AS FISIONOMIAS DO
CERRADO SENTIDO RESTRITO A PARTIR DE DADOS DO
SENSORIAMENTO REMOTO**

ANDREZA SOARES BRANCO

**FACULDADE DE TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**



Universidade de Brasília
Faculdade de Tecnologia
Departamento de Engenharia Florestal

**ESTIMATIVA VOLUMÉTRICA PARA AS FISIONOMIAS DO CERRADO
SENTIDO RESTRITO A PARTIR DE DADOS DO SENSORIAMENTO REMOTO**

Estudante: Andreza Soares Branco

Matrícula: 14/0130551

Orientador: Prof. Dr. Éder Pereira Miguel

Menção: SS

Prof. Dr. Eder Pereira Miguel
Universidade de Brasília – UnB
Departamento de Engenharia Florestal
Orientador

Prof. Dr. Eraldo Aparecido Trondoli Matricardi
Universidade de Brasília – UnB
Membro da Banca

MSc. Renan Augusto Miranda Matias
Membro da Banca - UnB

Novembro/2018



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

ESTIMATIVA VOLUMÉTRICA PARA AS FISIONOMIAS DO
CERRADO SENTIDO RESTRITO A PARTIR DE DADOS DO
SENSORIAMENTO REMOTO

ANDREZA SOARES BRANCO

Trabalho final de curso apresentado ao Departamento de Engenharia Florestal da Universidade de Brasília como Requisito Parcial para a obtenção do grau de Engenheiro Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Eder Pereira Miguel

Brasília – DF
Dezembro de 2018

“Eleve suas palavras, não sua voz. É a chuva que faz as flores crescerem, não o trovão”.

Rumi

Agradeço,

Aos meus pais e irmãos, por terem me dado apoio durante toda a vida, mostrando que a educação é o caminho para se conseguir conquistas na vida, por terem paciência por aguentar minhas reclamações, especialmente os incômodos que causava durante a noite, quando estudava devido à quantidade de provas e trabalhos a ser entregues em prazo curto.

Ao Leandro pelo apoio e carinho.

Aos meus tios, especialmente Jesualdo, por terem também mostrado que o caminho da educação é o mais seguro.

A toda minha família e madrinhas pelo apoio e paciência.

Aos meus amigos de longa data, por me acompanharem nessa minha longa jornada, especialmente Josianne, Kamylla e Deisielly. E também aos que conheci na Universidade, Vanessa, Isabella, Leonardo e Eduarda.

Ao IBRAM, por ter me fornecidos os dados para realizar este trabalho, especialmente os servidores da antiga Gestão Florestal e do Licenciamento.

Ao professor Éder Miguel por ter me orientado, semanalmente, ajudando-me a aprimorar meu trabalho.

Ao professor Eraldo e Alba pela grande ajuda nessa etapa final e por serem grandes exemplos de professores e Profissionais.

Ao professor Anderson, por ter me dado apoio desde o meu primeiro semestre, me dando oportunidades na iniciação científica e de estágio, sempre serei grata.

A Universidade de Brasília, por ser exemplo de comprometimento com a educação, ciência e tecnologia, que continue a ser, aprimorando sempre mais.

Ao Ministério da Educação, Unb, CNPQ, por suas políticas públicas, por terem me dado a oportunidade de estudar gratuitamente e ainda me dar subsídios para que pudesse me manter durante todo o curso. E a sociedade por contribuir para o funcionamento destas instituições.

SUMÁRIO

RESUMO	9
ABSTRACT	10
1. INTRODUÇÃO.....	11
2. OBJETIVO	12
2.1. OBJETIVO GERAL.....	12
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
3.1. CERRADO.....	13
3.2. INVENTÁRIO FLORESTAL	16
3.3. VARIÁVEIS ALOMÉTRICAS	16
3.4. SENSORIAMENTO REMOTO.....	18
3.5. PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS	18
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	20
4.1. OBTENÇÃO DOS DADOS.....	20
4.2. CLASSIFICAÇÃO EM FISIONOMIAS	24
4.3. INFORMAÇÕES DA IMAGEM	24
4.4. ÍNDICES DE VEGETAÇÃO	24
4.5. MODELAGEM E CRITÉRIO DE ESCOLHA DO MODELO	26
4.6. VALIDAÇÃO	27
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
5.1. ESTRATIFICAÇÃO DAS FISIONOMIAS.....	27
5.2. CORRELAÇÕES ENTRE PARAMETROS BIOFÍSICOS E ÍNDICES.....	28
5.3. ESCOLHA DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO	30
5.4. AJUSTE E SELEÇÃO DE MODELOS MATEMÁTICOS PARA ESTIMATIVA DE VOLUME PARA AS DIFERENTES FISIONOMIAS AVALIADAS.	31
5.5. VALIDAÇÃO DOS MODELOS	38
5.6. RESULTADOS SEMELHANTES	39
6. CONCLUSÕES.....	39
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40
8. ANEXOS	49

LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1.** DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA DOS BIOMAS BRASILEIROS, EM DESTAQUE O CERRADO (RIBEIRO; WALTER, 1998)..... 13
- FIGURA 2.** FITOFISIONOMIAS DO CERRADO “SENSU LATO”. FONTE: COUTINHO (1978)..... 14
- FIGURA 3.** DIAGRAMA DE PERFIL E COBERTURA ARBÓREA DE UM CERRADO RALO (A), TÍPICO(B) E DENSO(C), REPRESENTADO EM UMA FAIXA DE 40 M DE COMPRIMENTO E 10 M DE ALTURA (RIBEIRO; WALTER, 1998). 15
- FIGURA 4.** IMAGENS GERADAS PARA OBTENÇÃO DOS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO – LANSAT 8. (GERADA A PARTIR DE EARTH OBSERVING SYSTEM – 05/09/2018 – [HTTPS://EOS.COM/LANDVIEWER](https://eos.com/landviewer)) 20
- FIGURA 5.** GRÁFICOS DE DISPERSÃO DE RESÍDUOS (A), DE CLASSES DE ERRO (B) E DE DISPERSÃO DO OBSERVADO PELO ESTIMADO (C) PARA A FISIONOMIA DENSO. A1, B1, C1: MODELO *GEOMETRIC*; A2,B2,C2: MODELO LINEAR; A3, B3, C3: MODELO LOGISTIC, A4, B4, C4: MODELO *MODIFIED GEOMETRIC*; A5,B5, C5: MODELO MODIFIED HOERL..... 35
- FIGURA 6.** GRÁFICOS DE DISPERSÃO DE RESÍDUOS (A), DE CLASSES DE ERRO (B) E DE DISPERSÃO DO OBSERVADO PELO ESTIMADO (C) PARA A FISIONOMIA TÍPICO. A1, B1, C1: MODELO *GEOMETRIC*; A2,B2,C2: MODELO LINEAR; A3, B3, C3: MODELO LOGISTIC, A4, B4, C4: MODELO *MODIFIED GEOMETRIC*; A5,B5, C5: MODELO MODIFIED HOERL..... 36
- FIGURA 7.** GRÁFICOS DE DISPERSÃO DE RESÍDUOS (A), DE CLASSES DE ERRO (B) E DE DISPERSÃO DO OBSERVADO PELO ESTIMADO (C) PARA A FISIONOMIA RALO. A1, B1, C1: MODELO *GEOMETRIC*; A2,B2,C2: MODELO LINEAR; A3, B3, C3: MODELO LOGISTIC, A4, B4, C4: MODELO *MODIFIED GEOMETRIC*; A5,B5, C5: MODELO MODIFIED HOERL..... 37
- FIGURA 8.** MAPA DE VEGETAÇÃO - DISTRIBUIÇÃO PARCELAS (GDF. GOVERNO DO DISTRITO FEDERAL. ZONEAMENTO ECOLÓGICO ECONÔMICO DO DISTRITO FEDERAL. MAPA DE USO E COBERTURA DE TERRA. 2010)..... 49
- FIGURA 9.** MAPA TÍPO DE SOLOS - DISTRIBUIÇÃO DE PARCELAS. (GDF. GOVERNO DO DISTRITO FEDERAL. ZONEAMENTO ECOLÓGICO ECONÔMICO DO DISTRITO FEDERAL. MAPA SOLOS. 2010)..... 50

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. INFORMAÇÕES GERAIS DOS INVENTÁRIOS UTILIZADOS.....	22
TABELA 2. ESTIMATIVAS UTILIZADAS PARA O INVENTÁRIO FLORESTAL.	23
TABELA 3. MODELOS AJUSTADOS PARA ESTIMATIVA DE VOLUME PARA AS TRÊS FISIONOMIAS DE CERRADO A PARTIR DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO ESCOLHIDO.	26
TABELA 4. INTERVALO PARA RECLASSIFICAÇÃO DAS DIFERENTES FISIONOMIAS.....	27
TABELA 5. CORRELAÇÃO ENTRE VARIÁVEIS ALOMÉTRICAS E ÍNDICES DE VEGETAÇÃO PARA FISIONOMIA DENSO.	28
TABELA 6. CORRELAÇÃO ENTRE VARIÁVEIS ALOMÉTRICAS E ÍNDICES DE VEGETAÇÃO PARA FISIONOMIA TÍPICO.....	29
TABELA 7. CORRELAÇÃO ENTRE VARIÁVEIS ALOMÉTRICAS E ÍNDICES DE VEGETAÇÃO PARA FISIONOMIA RALO.	29
TABELA 8. RESULTADOS ESTATÍSTICOS E COEFICIENTES AJUSTADOS PARA OS MODELOS DE ESTIMATIVA DE VOLUME EM M ³ /HA UTILIZADO O EVI PARA A FISIONOMIA DENSO..	31
TABELA 9. RESULTADOS ESTATÍSTICOS E COEFICIENTES AJUSTADOS PARA OS MODELOS DE ESTIMATIVA DE VOLUME EM M ³ /HA UTILIZADO O EVI PARA A FISIONOMIA TÍPICO..	32
TABELA 10. RESULTADOS ESTATÍSTICOS E COEFICIENTES AJUSTADOS PARA OS MODELOS DE ESTIMATIVA DE VOLUME EM M ³ /HA UTILIZADO O EVI PARA A FISIONOMIA RALO.	32
TABELA 11. VALIDAÇÃO DO MELHOR MODELO SELECIONADO PARA CADA FISIONOMIA POR MEIO DO TESTE T.	38

RESUMO

O inventário florestal é um processo de obtenção de dados qualitativos e quantitativos dos recursos florestais, entretanto é considerada uma atividade onerosa, por demandar tempo e custos, especialmente para locais de difícil acesso. O uso de dados do sensoriamento remoto vem sendo cada vez mais utilizado para estimar parâmetros florestais, porém são poucos os estudos para a vegetação nativa. Este trabalho teve a finalidade de testar correlações entre os parâmetros florestais (área basal, volume e densidade) e dados do sensoriamento remoto (Índices de vegetação) e propor modelos para estimar volume para diferentes fisionomias do cerrado sentido restrito: denso, ralo e típico. Os índices testados apresentaram correlação de moderada à alta com os dados de volume, com exceção da fisionomia ralo; o índice de vegetação ajustado (EVI) teve uma correlação ligeiramente superior aos demais. A equação recomendada para a fisionomia cerrado denso e cerrado ralo foi o *Geometric* ($y = 929,86EVI^2 \cdot 9,19^{EVI^2}$; $y = 200,56EVI^2 \cdot 7,86^{EVI^2}$), já para a fisionomia cerrado típico foi *Modified Geometric* ($y = 4,7 \cdot 5,44 \frac{1}{EVI^2} EVI^{2 \cdot 55}$). O volume médio estimado para a fisionomia denso, típico e ralo foram respectivamente $38,06 \pm 4,31$ m³/ha, $24,94 \pm 2,89$ m³/ha e $12,91 \pm 1,70$ m³/ha.

Palavras-chave: Savana, Inventário Florestal, Imagens de Satélite, Geoprocessamento.

ABSTRACT

The forest inventory is a process of acquiring qualitative and quantitative data from forest resources, which is considered time and money consuming, especially for places not easily accessible. The use of remote sensing data has been increasingly used to estimate forest parameters, however only a few studies for native vegetation have been conducted. This study aimed to assess correlations between forest parameters (volume, square basal and density) and remotely sensed data (vegetation indices) and to develop models to estimate volume for different physiognomies of cerrado sentido restrito: “denso”, “ralo” and “típico”. All the tested indices showed moderate to high correlations with the volume data, with the exception of “ralo” physiognomy. The adjusted vegetation index (EVI) was significantly higher than the others. The equation recommends for the “denso”, “ralo” physiognomy, was the geometric ($y = 929.86EVI^2 \times 9.19^{EVI^2}$; $y = 200.56EVI^2 \times 7.86^{EVI^2}$), already for the “típico” physiognomy Modified geometric ($y = 4.7 \cdot 5.44 \frac{1}{EVI^2} EVI^{2.55}$) was the most appropriate. The estimated average volume for dense, typical and thin physiognomy was $38.06 \pm 4.31 \text{ m}^3 / \text{ha}$, $24.94 \pm 2.89 \text{ m}^3 / \text{ha}$ and $12.91 \pm 1.70 \text{ m}^3 / \text{ha}$, respectively.

Key Words: Savanna, forest inventory, satellite imagery, geoprocessing.

1. INTRODUÇÃO

Cerrado possui aproximadamente 11.627 espécies de plantas nativas já catalogadas, representando 22% do território nacional, (MMA, 2018). Entre as maiores contribuições do bioma para o país está a de produção hídrica no território brasileiro, que contribui para seis das oito grandes bacias hidrográficas do país. O Cerrado é a savana mais rica do mundo (PRADO, 2012; ROSATTI; SILVA; BATALHA, 2015; SCHIASSI et al., 2018), com grande percentual de endemismo, na magnitude de 44% plantas vasculares, 30% para anfíbios, 20% para répteis, 12% para mamíferos e 1,4% para aves (SILVA; BATES, 2002; SCARIOT; SILVA; FELFILI, 2005).

Este bioma é o que mais sofreu alterações com a ocupação humana nas últimas três décadas, com a redução de mais de 50% de sua vegetação nativa (KLINK; MACHADO, 2005) devido principalmente à crescente pressão para a abertura de novas áreas para a produção de carne, grãos e etanol para exportação, o que coloca em risco a sobrevivência de muitas espécies e a integridade de seu habitat (DIAS, 1994; CALDAS et al., 2004; MMA, 2018).

O inventário florestal tradicional é um processo de obtenção de dados qualitativos e quantitativos dos recursos florestais (BRENA; NETO, 1997; SOARES; NETO; SOUZA, 2006), o qual dá base para o manejo e conservação das florestas, além de ser importante para o planejamento regional e para tomada de decisões estratégicas nos diversos níveis administrativos (VIBRANS et al., 2010). Entretanto é uma atividade onerosa, pois representa grande parte dos custos, principalmente por exigir coletas de campo (CAMPOS; LEITE, 2006; MANZATO, 2018).

O inventário também é exigido para suprimir áreas de vegetação nativa, especialmente em áreas públicas, onde se faz necessário à autorização do órgão ambiental responsável. Estes inventários são conferidos pelos órgãos ambientais, pois o cálculo da compensação requerida pelas legislações estaduais ou distritais está associado à quantidade/densidade de vegetação nativa suprimida.

Estudos mostram que há várias correlações plausíveis entre as transformações da refletância espectral, que são os índices de vegetação e parâmetros biofísicos, como o de área foliar, biomassa e funcionamento fisiológico (MYNENI et al., 1995).

As bandas amplamente utilizadas para calcular estes índices são a de infravermelho próximo e vermelho, pois a partir destas é possível medir abundância e absorção da energia da clorofila (MYNENI, et al., 1995).

Os inventários tradicionais normalmente demandam elevado fluxo de informações, como alocar, organizar e interpretar dados de forma a estabelecer um banco confiável, de tal modo que acaba onerando a atividade e se tornando pouco efetivo (BOLFE; SOARES; AZAMBUJA, 2004; SOUZA, 2007; ALVES, 2013; SANTOS, 2017), especialmente quando as florestas estão localizadas em locais remotos, de difícil acesso.

O sensoriamento remoto surge como uma ferramenta que pode tornar a obtenção dos parâmetros biofísicos mais fácil, gerando maior eficiência (ALVES, 2013; SANTOS, 2017). A ferramenta apresenta alternativas que possibilita integrar os dados e possibilita um melhor monitoramento e atualização das informações.

Os índices de vegetação auxiliam no processo de interpretação de dados de imagens do sensoriamento remoto, dando maior confiança especialmente em relação a escala temporal em trabalhos que utilizam a cobertura da vegetação e seu estado de conservação (LUCENA, 2014). O uso da quantificação da produção florestal pela ferramenta é amplamente utilizado, apesar de que em florestas heterogêneas, o uso ainda é incipiente, por possuir alta diversidade florística e fisionômica (WATZLAWICK; KIRCHNER; SANQUETTA, 2009; MIGUEL et al., 2015).

2. OBJETIVO

2.1. OBJETIVO GERAL

Estimar o volume por unidade de área para diferentes fisionomias do cerrado sentido restrito utilizando informações derivadas de imagens de satélites.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Verificar correlação entre o volume e diferentes índices de vegetação para as fisionomias do cerrado sentido restrito.

Ajustar e selecionar modelos de regressão para a estimativa do volume por unidade de área tendo como variável preditora índices de vegetação derivados de imagens de satélite.

Validar os modelos de estimativa de volume com informações oriundas de satélites, tendo como referência informações dos inventários florestais tradicionais.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. CERRADO

O Cerrado abrange como área contínua os estados de Goiás, Tocantins e o Distrito Federal, parte dos estados da Bahia, Ceará, Maranhão, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Piauí, Rondônia e São Paulo, também ocorre em áreas disjuntas ao norte nos estados do Amapá, Amazonas, Pará e Roraima, e ao sul, em pequenas "ilhas" no Paraná (**Figura 1**). Fora do Brasil ocupa áreas na Bolívia e Paraguai, enquanto paisagens semelhantes são encontradas na Colômbia, Guiana, Suriname e Venezuela, recebendo outras denominações como Lhanos, por exemplo (EITAN, 1979; RIBEIRO; WALTER, 1998).



Figura 1. Distribuição geográfica dos biomas brasileiros, em destaque o Cerrado (RIBEIRO; WALTER, 1998).

O Cerrado está sob um regime climático caracterizado pela presença de invernos secos e verões com chuva, classificados como Aw de Köppen (tropical chuvoso), o clima. Possui média anual de precipitação da ordem de 1500 mm, variando de 750 a 2000 mm. As

chuvas ocorrem praticamente de outubro a março. O contraste entre as superfícies mais baixas (inferiores a 300 m), as longas chapadas entre 900 e 1600 m e a extensa distribuição em latitude, conferem ao Cerrado uma diversificação térmica elevada (GOEDERT, 1985).

Por tipo de vegetação, entende-se fitofisionomia enquanto para formas de vegetação, a fisionomia (EITEN, 1979), seguindo esta classificação o bioma Cerrado poderia ser dividido em onze tipos fitofisionômicos gerais descritos, enquadrados em formações florestais (Mata Ciliar, Mata de Galeria, Mata Seca e Cerradão), savânicas (Cerrado sentido restrito, Parque de cerrado, Palmeiral e Vereda) e campestres (Campo Sujo-Campo Rupestre e Campo Limpo), muitos dos quais apresentam subtipos.

Quanto ao solo no Cerrado predominam os latossolos, tanto em áreas sedimentares quanto em terrenos cristalinos, ocorrendo ainda solos concrecionários em grandes extensões, como exemplo o que ocorre no Distrito Federal (**Figura 9, Anexo**) (AB'SABER, 1983; LOPES, 1984).

As formações savânicas do Cerrado englobam quatro tipos fitofisionômicos principais: o cerrado sentido restrito, o parque de cerrado, o palmeiral e a vereda. (RIBEIRO; WALTER, 1998) (**Figura 2**).

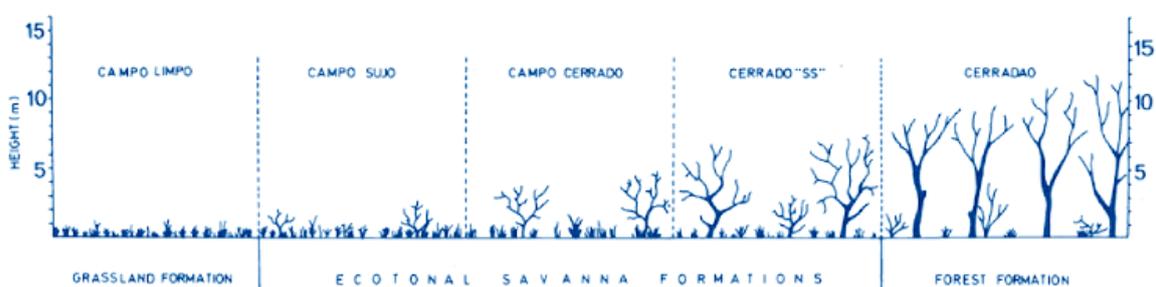


Figura 2. Fitofisionomias do Cerrado “sensu lato”. Fonte: COUTINHO (1978).

3.1.1. CERRADO SENTIDO RESTRITO

Utilizando-se deste conceito e classificações de Ribeiro & Walter (1998), o cerrado sentido restrito pode ser caracterizado pela presença de estratos arbóreo e arbustivo-herbáceo definidos, com as árvores distribuídas aleatoriamente sobre o terreno em diferentes densidades. Devido à complexidade dos fatores condicionantes, originam-se subdivisões fisionômicas distintas do cerrado sentido restrito, sendo as principais: o cerrado denso, o cerrado típico e o cerrado ralo, além do cerrado rupestre (**Figura 3**).

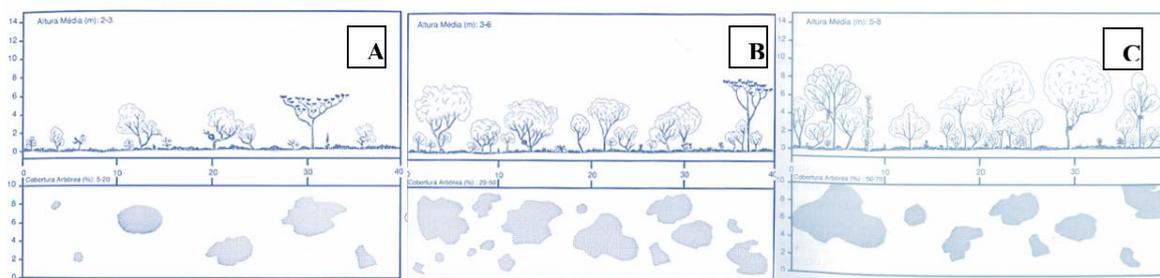


Figura 3. Diagrama de perfil e cobertura arbórea de um cerrado ralo (A), típico(B) e denso(C), representado em uma faixa de 40 m de comprimento e 10 m de altura (RIBEIRO; WALTER, 1998).

3.1.2. CERRADO DENSO

O cerrado denso é um subtipo de vegetação predominantemente arbóreo, com cobertura de 50% a 70% e altura média de cinco a oito metros. Esta categoria representa a forma mais densa e alta do cerrado sentido restrito, os estratos arbustivo e herbáceo são mais ralos, provavelmente devido ao sombreamento resultante da maior densidade de árvores. Esta fisionomia ocorre geralmente em solos do tipo Latossolos Roxo, Vermelho-Escuro, Vermelho-Amarelo e nos Cambissolos, dentre outros (RIBEIRO; WALTER, 1998).

3.1.3. CERRADO TÍPICO

O cerrado Típico é um subtipo de vegetação predominantemente arbóreo-arbustivo, com cobertura arbórea de 20% a 50% e altura média de três a seis metros. Trata-se de uma forma comum e intermediária entre o cerrado Denso e o cerrado Ralo. O cerrado Típico ocorre em Latossolos Vermelho-Escuro, Vermelho-Amarelo, Cambissolos, Areias Quartzosas, solos Litólicos ou Concrecionários, dentre outros (RIBEIRO; WALTER, 1998).

3.1.4. CERRADO RALO

O subtipo ralo é de uma vegetação arbóreo-arbustiva, com cobertura arbórea de 5% a 20% e altura média de dois a três metros. Representa a forma mais baixa e menos densa de cerrado sentido restrito. O estrato arbustivo-herbáceo é mais destacado que nos subtipos superiores. Ocorre principalmente em Latossolo Vermelho-Amarelo, Cambissolos, Areias Quartzosas, solos Concrecionários, Hidromórficos e Litólicos (RIBEIRO; WALTER, 1998).

3.1.5. IMPORTÂNCIA DO CERRADO

O Cerrado é considerado um Hotspots mundial para conservação da biodiversidade (MYERS et al., 2000; SIMON et al., 2009), apesar de ainda não é tratado como tal. Há uma intensa ocupação agropastoril que o vem transformando em uma fronteira agrícola. Independentemente dos números mais otimistas ou alarmantes, haja vista diferenças em metodologias, propósitos e limites geográficos adotados, o ritmo de desmatamento do Cerrado ainda é bastante elevado, mais de 50% (FERREIRA; FERREIRA; FERREIRA, 2008; MMA, 2018).

3.2. INVENTÁRIO FLORESTAL

O inventário florestal é uma atividade que visa obter informações qualitativas e quantitativas de recursos florestais existentes em área pré-específica (BRENA; NETO, 1997). Estes recursos florestais exigem sempre do tomador de decisões a obtenção e a geração de informações precisas, de modo que possa ter uma melhor forma de conservar ou manejar esses recursos, seja para função de produção ou proteção (SANQUETTA et al., 2014).

3.3. VARIÁVEIS ALOMÉTRICAS

3.3.1. DIÂMETRO A ALTURA DO PEITO E ALTURA

O diâmetro a altura do Peito (DAP) mensurado a 1,30 m do solo, medida adotada no Brasil e Sistema Internacional de Medidas (SI), é uma característica que pode ser facilmente obtida, proporcionando confiabilidade da medida (SOARES; NETO; SOUZA, 2006). Para o inventário e mensuração florestal ele seria o elemento mais importante medido em uma árvore, pois a partir deste é possível calcular área transversal, área basal, o quociente e o fator de forma de uma árvore, o volume entre outras grandezas de interesse (SANQUETTA et al., 2014).

O diâmetro é medido a altura do peito, pois na maioria das árvores é encontrado deformidades em seu fuste, especialmente na base, essas deformações provocam erros na obtenção do volume mais próximo do real, estes erros são diminuídos quando mensurados a altura do peito. O diâmetro pode ser medido com fita diamétrica ou suta, ou ainda é possível obter a circunferência, com uma fita métrica e depois converter o valor para diâmetro (SOARES; NETO; SOUZA, 2006).

A altura é uma importante variável para estimativa de volume e indicação de qualidade de sítio, é mensurada por instrumentos hipsométricos, a altura pode ser a total, da copa, a comercial e a do fuste, para a estimação de volume normalmente se utiliza esta última ou a comercial (SOARES; NETO; SOUZA, 2006). Para se obter essa medida do povoamento, normalmente é mensurado a altura de alguns indivíduos e estimativa para os demais, para tal é possível utilizar modelos hipsométricos.

3.3.2. ÁREA BASAL

A área basal pode ser entendida com a parte de uma área florestal ocupada pelos fustes das árvores que compõe a floresta; normalmente é expressa por unidade de área (MACHADO; FIGUEIREDO, 2003; SANQUETTA et al., 2014). É a área de secção de um plano (corte do tronco), a uma determinada altura (FINGER, 1992; SANQUETTA et al., 2014). O somatório de todas as secções transversais em um hectare pode ser simbolizado por G (Área basal por hectare).

A área basal ou área transversal pode ser calculada (SANQUETTA et al., 2014):

$$g = \frac{\pi \cdot DAP^2}{40000},$$

Onde g=área trasversal /área basal(m²), DAP (cm) = diâmetro a altura do peito.

3.3.3. VOLUME

O fuste de uma árvore não é um cilindro perfeito, ou seja, apresenta diferentes formas e deformações, o que aumenta os erros associados ao volume. O volume de uma árvore é influenciado por uma série de fatores, como espécie, idade, espaçamento de plantio e qualidade de sítio (SOARES; NETO; SOUZA, 2006).

O procedimento direto para obtenção do volume da árvore é conhecido por cubagem, que consiste nas medições na árvore cortada ou em pé, estas medidas são utilizadas para calcular o volume. Considerada a única técnica para se obter o volume real, a cubagem rigorosa pode ser feita utilizando vários métodos, como: Smalian, Huber, Newton, Hohenadl, FAO, xilômetro, etc (SANQUETTA et al., 2014).

A estimativa do volume pode ser feita por meio de um modelo que utiliza o fator de forma, razão do volume real sobre o volume do cilindro, pode ser feito um fator de forma médio e aplicado em um modelo para estimar o volume dos demais indivíduos. Outro método é o uso da regressão linear que possibilita ajuste de modelos utilizando dados da

cubagem rigorosa (volume real) e dados dendrométricos, como DAP (SOARES; NETO; SOUZA, 2006).

3.4. SENSORIAMENTO REMOTO

O sensoriamento remoto pode ser definido como uma ciência que visa o desenvolvimento da obtenção de imagens da superfície terrestre por meio da detecção e medição quantitativa das respostas das interações da radiação eletromagnética com os materiais terrestres (ALMEIDA; MENESES, 2012).

A Radiação eletromagnética pode ser compreendida entendendo o comportamento dual, em que a luz se propaga ao mesmo tempo como onda e como energia. O modelo ondulatório se relaciona com as propriedades texturais dos objetos, enquanto que o modelo corpuscular às propriedades composicionais (ALMEIDA; MENESES, 2012).

Assim, para discriminar ou diferenciar nas imagens de sensoriamento remoto um objeto do outro, como uma ardósia de um granito, deve-se ter imagens nos comprimentos de onda de alta energia, que possam interagir com os minerais constituintes. E, para que possamos ver as diferenças das duas rochas, em função tão somente de suas texturas (formas de relevo), é aconselhável ter imagens nos grandes comprimentos de onda, onde a textura da superfície das rochas é que comanda as intensidades de reflectância (ALMEIDA; MENESES, 2012).

3.5. PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

3.5.1. ÍNDICES DE VEGETAÇÃO

No campo do sensoriamento remoto, os pesquisadores têm desenvolvido índices de vegetação para quantificar e qualificar as coberturas vegetais e a resposta apresenta uma mistura complexa de vegetação, reflexo do solo, efeitos ambientais, sombra, cor do solo e umidade, o índice de vegetação sofre variações espaços-temporais da atmosfera (BANNARI, 1995).

A maior parte das interações entre a radiação eletromagnética nos comprimentos de onda do vermelho e infravermelho próximo com a superfície terrestre possibilitam compor índices que realçam o comportamento espectral da vegetação, correlacionando-os com os parâmetros biofísicos da mesma, tais como: biomassa, índice de área foliar (IAF) e percentagem de cobertura vegetal.

O sensoriamento remoto gera produtos de grande relevância, apesar de que as imagens obtidas não possuem resoluções espectrais de boa qualidade. Por isso, é importante que essas imagens passem por processo de tratamento e interpretação. Os índices de vegetação auxiliam nesse processo de interpretação gerando maior confiança espacial em relação à escala temporal em trabalhos que utilizam a cobertura da vegetação e seu estado de conservação (LUCENA, 2014).

Estes índices são algoritmos simples e eficazes para avaliar quantitativamente a cobertura vegetal, seu vigor e a sua dinâmica de crescimento (XUE; SU, 2017). Eles são obtidos por meio da divisão de bandas que consiste na divisão do valor digital dos pixels de uma banda pelos correspondentes valores de outra banda (SANTOS, 2015).

Ao realizar uma razão entre bandas os quocientes variam em um intervalo que compreende valores reais contínuos. Para a discretização destes valores multiplicam-se os quocientes por um “ganho” e adiciona-se um *offset*, cujos valores ideais de ganho e *offset* variam de acordo com a imagem e com o tipo de *ratio* (SANTOS, 2015).

3.5.1.1. NDVI – ÍNDICE DE VEGETAÇÃO DA DIFERENÇA NORMALIZADA

O índice de vegetação da diferença normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index*), NDVI (ROUSE et al., 1974) foi introduzido para produzir um índice de vegetação espectral que separa vegetação verde do brilho do solo de fundo (ALMEIDA; MENESES, 2012; SANTOS, 2015; XUE; SU, 2017).

3.5.1.2. SAVI – ÍNDICE DE VEGETAÇÃO AJUSTADO AO SOLO

O índice *Soil Ajusted Vegetation Index* – SAVI (HUETE, 1988) possui a propriedade de minimizar os efeitos do solo de fundo na expressão da vegetação ao incorporar um constante de ajuste de solo por meio do fator L no denominador da equação NDVI (ALMEIDA; MENESES, 2012; SANTOS, 2015; XUE; SU, 2017).

3.5.1.3. EVI2 – ÍNDICE DE VEGETAÇÃO AJUSTADO

O EVI (*Enhanced Vegetation Index*) é outro índice de vegetação formulado a partir dos índices de vegetação SAVI e ARVI (*Atmosphere Resistant Vegetation Index*), é aprimorado para corrigir as influências atmosféricas no solo, avalia o vigor da vegetação e pode ser utilizado para monitorar mudanças ocorridas na cobertura do solo. É um índice que minimiza os efeitos de resposta do solo e atmosfera, como também apresenta alta

resposta a variações fenológicas (JUSTICE et al., 1998; ALMEIDA; MENESES, 2012; SANTOS, 2015).

Foi desenvolvido o EVI de 2 bandas (EVI2), sem uma faixa azul, que tem melhor similaridade com a EVI de 3 bandas, especialmente quando os efeitos atmosféricos são insignificantes. Já foi demonstrado que as diferenças entre EVI e EVI2 são insignificantes (JIANG et al., 2008).

Os índices NDVI, EVI2 e SAVI quando calculados geram produtos similares a figura 4.

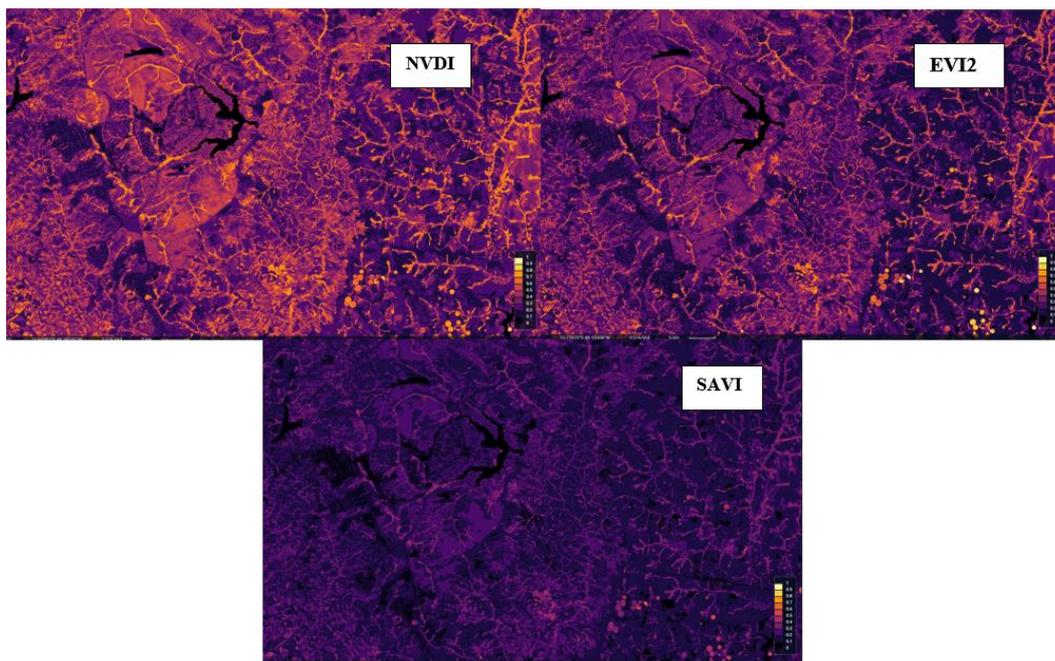


Figura 4. Imagens exemplificando os Índices de vegetação – LANSAT 8. (Gerada a partir de EARTH OBSERVING SYSTEM – 05/09/2018 – <https://eos.com/landviewer>)

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 OBTENÇÃO DOS DADOS

Os dados de volume, variáveis alométricas e informações gerais sobre os inventários foram obtidos através dos dados de inventários aprovados no Instituto Brasília Ambiental – Brasília-DF.

O instituto não exige processo de amostragem padrão para o inventário, apenas a justificativa da escolha do processo. A exigência é quanto ao critério de inclusão de indivíduos, em que, são considerados os indivíduos arbóreos com a partir de 20 (vinte) cm de circunferência, a trinta centímetros do solo (circunferência a altura da base – CAB) ou altura maior que 2,5m (dois metros e meio), conforme o termo de referência para inventários florestais do IBRAM e decreto nº 14.783 DE 17 DE JUNHO DE 1993 (revogado pelo Decreto 39469 de 22/11/2018).

Os dados são de inventários que compreende a região do Distrito Federal, nas regiões administrativas do Plano Piloto, Planaltina, Santa Maria, Gama, São Sebastião, Itapoã, Paranoá e Sobradinho, outras regiões do Distrito Federal não foram abordadas pois dados dos inventários não eram compatíveis com o objetivo deste trabalho. O objetivo foi compilar dados que representem o cerrado sentido restrito do Distrito Federal de forma geral. No total foram encontradas 33 parcelas de cerrado sentido restrito que atendia as especificações deste trabalho (**Figura 8 e Figura 9**, Anexo).

As parcelas apresentaram tamanhos diferentes e, para melhor homogeneização dos dados, as variáveis alométricas foram transformadas para metro cúbico por hectare. Os dados são de inventários realizados no mesmo ano da imagem da Terracap, em 2017, para que haja correspondência temporal.

4.1.1. PROCESSOS E MÉTODOS DE AMOSTRAGEM DOS INVENTÁRIOS

Os processos de amostragem utilizados nestas parcelas foram o de Amostragem simples, Amostragem Casual estratificada e Censo florestal, um apanhado geral sobre cada inventário será explicitado tabela 1. Para as equações que utilizam DAP – diâmetro a altura do peito, os inventários (2 e 7) foram feitos obedecendo o critério de inclusão de Db mínimo de 20 cm de circunferência, porém a coleta do diâmetro foi em DAP.

Tabela 1. Informações gerais dos inventários utilizados.

	Processo de Amostragem	Critério de inclusão	Parcelas (tamanho)	Equação de volume	Observações Gerais
Inventário 1	Amostragem Simples	Db a 30 cm, > 5 cm (diâmetro)	20 m x 50 m	$V=(0,0001214 \cdot Db^2) + (0,0000161578 \cdot Db^2 \cdot H)$	Método área fixa
Inventário 2	Amostragem Casual estratificada	Altura mínima de 2,2 m e circunferência de 20 cm (mín).	60 m x 7 m	$V=0,000066 \cdot DAP^{2,475293} \cdot H^{0,300022}$ (CETEC, 1995)	Método área fixa
Inventário 3	Amostragem aleatória simples	Db a 30 cm, >20 cm (circunferência) ou mias de 2,5 m de altura	20 m x 50 m	$V=(0,000109 \cdot Db^2) + (0,0000451 \cdot Db^2 \cdot H)$ (Rezende et al., 2006)	Método área fixa
Inventário 4	Censo Florestal	Altura superior a 2,5 m e Db maior que 5 cm a 30 cm do solo	–	$V=(0,000109 \cdot Db^2) + (0,0000451 \cdot Db^2 \cdot H)$ (Rezende et al., 2006)	–
Inventário 5	Amostragem Casual simples	Altura superior a 2,5 m e com circunferência superior a 20 cm a 30 cm do solo	20 m x 50 m	$V=(0,000109 \cdot Db^2) + (0,0000451 \cdot Db^2 \cdot H)$ (Rezende et al., 2006)	Método área fixa
Inventário 6	Amostragem estratificada	Altura superior a 2,5 m e circunferência superior a 20 cm a 30 cm do solo	20 m x 50 m	$V=(0,000109 \cdot Db^2) + (0,0000451 \cdot Db^2 \cdot H)$ (Rezende et al., 2006)	Método área fixa
Inventário 7	Censo Florestal	Db superior a 5 cm a 30 cm de altura do solo e altura superior a 2,5 m	100 m ² (10 m x 10 m) *	$V=0,000074 \cdot DAP^{1,707348} \cdot H^{1,16873}$ (CETEC, 1995)	–

Em que: V= Volume com casca em m³; Db= Diâmetro da base (a 30 cm do solo); DAP = Diâmetro a altura do peito (1,30 solo); H = altura total (m). *Censo em diferentes áreas suprimidas de 100 m².

Os inventários selecionados seguiram um padrão para estimativa do inventário. As estimativas dos parâmetros das populações foram calculadas segundo Brena e Neto (1997), conforme Tabela 2, há as estimativas para processo de amostragem casual/simplex e estratificada. Os inventários apresentaram precisão requerida, com erro amostral máximo de 20%.

Tabela 2. Estimativas utilizadas para o Inventário Florestal.

Estimativa	Fórmula
Média (\bar{x})	$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n Xi}{n}$
Média estratificada (\bar{x}_{st})	$\bar{x}_{st} = \sum_{h=1}^L (W_h \bar{x}_h)$
Variância (S_x^2)	$S_x^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (Xi - \bar{x})^2}{n - 1}$
Variância estratificada (S_{st}^2)	$S_{st}^2 = \sum_{h=1}^L (W_h s_h^2)$
Variância da média ($S_{\bar{x}}^2$)	$S_{\bar{x}}^2 = \frac{S_x^2}{n} * (1 - f)$
Variância da média estratificada ($S_{\bar{x}(st)}^2$)	$S_{\bar{x}(st)}^2 = \sum_{h=1}^L W_h^2 \cdot \frac{s_h^2}{n_h} - \sum_{h=1}^L \frac{W_h s_h^2}{N}$
Fração de amostragem (f)	$f = \frac{n}{N}$
Erro padrão da média ($s_{\bar{x}}$)	$s_{\bar{x}} = \frac{S_x}{\sqrt{n}} * \sqrt{(1 - f)}$
Erro padrão da média estratificada ($S_{\bar{x}(st)}$)	$s_{\bar{x}(st)} = \sqrt{\sum_{h=1}^L W_h^2 \cdot \frac{s_h^2}{n_h} - \sum_{h=1}^L \frac{W_h s_h^2}{N}}$
Coeficiente de Variação (CV)	$CV = \frac{S_x}{\bar{x}} * 100$
Erro de amostragem absoluto (E_{abs})	$E_{abs} = \pm t * s_{\bar{x}}$
Erro de amostragem relativo (E_{rel})	$E_{rel} = \frac{\pm t * s_{\bar{x}}}{\bar{x}} * 100$
Intervalo de Confiança (IC)	$IC = \bar{x} \pm E_{abs}$

Onde x é o volume; n: n° de unidades da amostra; N: n° total de unidades da população; t: valor da probabilidade de Student; h: estrato; Wh: proporção do estrato na população; wh: proporção do estrato na amostra. CV, Eabs, Erel e intervalo de confiança é o mesmo para o processo de amostragem estratificada, substituindo apenas a média normal pela média estratificada.

4.2 CLASSIFICAÇÃO EM FISIONOMIAS

Como não há padrão de autor para classificação da tipologia de estrato do cerrado sentido restrito, fez-se a reclassificação das parcelas, quanto a fisionomia de cerrado de cada uma de acordo com a classificação de Ribeiro & Walter (1998), classificando em denso, ralo e típico.

Os valores utilizados para classificação quanto ao tipo de fisionomia foram retirados do artigo “Diferenças florísticas e estruturais entre fitofisionomias do Cerrado em Assis, SP, Brasil”, onde Pinheiro e Durigan (2012) fez a classificação em denso, típico, abaixo foi considerado ralo, também considerou cerradão, porém não contempla o objetivo deste trabalho.

4.3 INFORMAÇÕES DAS IMAGENS DE SATÉLITE UTILIZADAS

A imagem utilizada para obtenção dos índices foi cedida pela Agência de Desenvolvimento do Distrito Federal (TERRACAP). A imagem foi obtida em 12 de setembro de 2017 pelo satélite Pleiades, com resolução espacial de 0,5 metro, 4 bandas espectrais, sendo 3 bandas no espectro visível e 1 no infravermelho próximo, que permite uma boa discriminação das feições do solo. As imagens do satélite Pleiades são fornecidas em nível 2 de correção geométrica e radométrica, que não requer correções adicionais para o seu processamento.

4.4 ÍNDICES DE VEGETAÇÃO

A partir das imagens da TERRACAP foram extraídos os índices de vegetação das imagens, utilizando-se uma ferramenta do Arcgis, *raster calculator*. Foi obtido o valor médio para cada parcela, utilizando a ferramenta *Zonal statistics*, dos índices: NDVI, EVI e SAVI.

NDVI – Índice de vegetação da diferença normalizada

O índice de vegetação da diferença normalizada é obtido por meio da razão da diferença entre a banda do infravermelho (*NIR*) próximo e a vermelha normalizada (*RED*) pela soma destas duas bandas (equação 1):

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \quad (1)$$

O índice varia entre -1 a 1, quanto mais próximo de 1 maior a densidade da cobertura vegetal, os valores negativos representam áreas com total ausência de vegetação

(água) e solos expostos ficando com valores que se aproximam de zero (ALMEIDA; MENESES, 2012; SANTOS, 2015; XUE; SU, 2017).

SAVI – Índice de Vegetação Ajustado para o Solo

O índice *Soil Adjusted Vegetation Index* (SAVI), proposto por Huete (1988), é obtido a partir do NDVI, com o fator L. O fator L varia com a característica da reflectância do solo (calor e brilho) e varia dependendo da densidade da vegetação que se deseja analisar. A equação do SAVI é escrita da seguinte maneira (Equação 2):

$$SAVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED+L} (1 + L) \quad (2)$$

L= Variável de ajuste do solo.

NIR = Banda do infravermelho

RED= Banda do vermelho

O fator L varia com a característica da refletância do solo (calor e brilho) e vai variar dependendo da densidade da vegetação que se deseja analisar, para vegetação de baixa densidade é sugerido utilizar o fator L = 1,0, já para vegetação intermediária o L = 0,5; quando a vegetação possui alta densidade, o L = 0,25. Quando se utiliza o L = 0 os valores do SAVI serão idênticos ao NDVI, e para o L = 100 os valores do SAVI serão aproximados ao do PVI (perpendicular vegetation index) (ALMEIDA; MENESES, 2012; SANTOS, 2015; XUE; SU, 2017).

EVI2 – Índice de vegetação ajustado

O EVI2 (*Enhanced Vegetation Index*) pode ser obtido pela equação 3.

$$EVI2 = G[(NIR - RED)/(NIR + C1RED + L)] \quad (3)$$

Em que L é fator de ajuste para o solo; C1 é coeficientes de ajuste para efeito de aerossóis da atmosfera; RED é a reflectância da região espectral do vermelho e NIR é a reflectância da região espectral do infravermelho próximo. Os valores dos coeficientes dos coeficientes são L = 1, C1 = 2,4, e o fator de ganho G = 2,5 (JUSTICE et al., 1998).

Subsequentemente, a partir da obtenção dos índices para cada parcela, foi feita a correlação (r) segundo Pearson destes índices com a variável volume por parcela/hectare. Para Moore (2007), a correlação (r) mensura a direção e o grau da relação linear entre duas variáveis quantitativas. A utilização da correlação de Pearson (r), deu-se por análise prévia dos dados, utilizando-se da ferramenta do Excel.

O coeficiente de correlação Pearson (r) varia de -1 a 1, o sinal indica direção positiva ou negativa do relacionamento e o valor sugere a força da relação entre as variáveis (FIGUEIREDO; SILVA JUNIOR, 2009). Quanto mais próximo dos dois extremos, maior a correlação. Considerando o trabalho de Dancey e Reidy (2005), quanto à intensidade da correlação, quando $0,10 \geq r < 0,40$, considera-se uma relação fraca, $r = 0,40 \leq r < 0,7$, moderada e $r = 0,70 \leq r \leq 1$, forte (positivo ou negativo).

4.5 MODELAGEM E CRITÉRIO DE ESCOLHA DO MODELO

A partir dos valores de volume por parcela/hectare juntamente com seus respectivos valores do índice de maior correlação, foram ajustados cinco modelos (Tabela 3) para as diferentes fisionomias vegetais da área de estudo. O ajuste foi feito com o auxílio dos programas Curve Expert 1.3.

Tabela 3. Modelos ajustados para estimativa de volume para as três fisionomias de cerrado a partir do índice de vegetação escolhido.

Modelo	Equação
<i>Geometric Fit</i>	$y = \alpha x^{\beta x}$
<i>Linear Fit</i>	$y = \alpha + \beta x$
<i>Logistic</i>	$y = \frac{\alpha}{(1 + \beta e^{-\gamma x})}$
<i>Modified Geometric fit</i>	$y = \alpha x^{\frac{b}{x}}$
<i>Modified Hoerl</i>	$y = \alpha \beta x^{\frac{1}{x^{\gamma}}}$

Em que y é a variável de interesse (volume); x é a variável independente (índice); α , β e γ são os coeficientes a serem ajustados.

A escolha do melhor modelo para estimativa de volume foi baseada na análise de correlação (r), erro padrão da estimativa percentual (S_{yx}) e distribuição de resíduos.

4.6 VALIDAÇÃO

A validação do melhor modelo selecionado para cada fisionomia vegetal foi realizada pelo Teste “t” ($p < 0.05$), na qual 30% das parcelas de cada fisionomia foram utilizadas. No processo de validação, como estatística complementar utilizou o método da Diferença agregada, que corresponde à diferença entre o somatório dos valores (volume) observados com os estimados.

A partir da análise dos valores encontrados, pelo método da diferença agregada, é possível observar o quanto a modelo superestima ou subestima os valores reais. A diferença agregada foi calculada conforme a equação:

$$DA(\%) = \sum \frac{(x_i - x_e)}{x_i} \cdot 100$$

Onde:

DA (%) = Diferença agregada em porcentagem

X_i = Volume observado

X_e = Volume estimado

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 ESTRATIFICAÇÃO DAS FISIONOMIAS

A classificação das três fisionomias do cerrado sentido restrito apresentou diferentes faixas de volume (Tabela 4) corroborado por Pinheiro e Durigan (2012).

Tabela 4. Intervalo para reclassificação das diferentes fisionomias.

Fisionomia	Inferior (m ³ /ha)	Superior (m ³ /ha)
Ralo	10	18
Típico	18	30
Denso	30	50

O volume médio de todas as parcelas, desconsiderando a estratificação, encontrado neste trabalho para o cerrado sentido restrito foi de 23,75 m³/ha que está dentro do

intervalo encontrado no trabalho de Rezende et al (2006) de $25,10 \pm 2,83$ m³/ha. Esta estimativa é próxima aos valores médios de volume encontrado por Mota (2017).

A densidade média encontrada foi de 1010,84 ind./ha, próximo aos valores encontrados por Castro e Kauffman (1998) e Ottmar et al. (2001) de 1000 e 1054 ind/ha, respectivamente, para o cerrado sentido restrito. Já a área basal média foi de 6,91 m²/ha, valor semelhante ao encontrado por Rezende et al. (2006) 6,2 m²/ha.

5.2 CORRELAÇÕES ENTRE PARAMETROS BIOFÍSICOS E ÍNDICES

Com base nos valores biofísicos por tipo fisionômico, foi estimado correlações para volume e índices de vegetação de moderadas a fortes, para as fisionomias denso e típico.

Área basal com índices de vegetação apresentou correlações moderadas a alta somente para as fisionomias denso e ralo, enquanto a densidade (n° ind./ha) apresentou correlações moderadas somente para a fisionomia denso (Tabelas 5, 6 e 7).

Tabela 5. Correlação entre variáveis alométricas e índices de vegetação para fisionomia Denso.

	Volume (m ³ /há)	G (m ² /ha)	N (ind./ha)	NDVI	SAVI	EVI
Volume (m ³ /há)	1,000					
G(m ³ /ha)	0,675*	1,000				
N (m ³ /ha)	0,897*	0,830*	1,000			
NDVI	0,697*	0,793*	0,641*	1,000		
SAVI	0,697*	0,793*	0,641*	1,000*	1,000	
EVI	0,706*	0,802*	0,653*	1,000*	1,000*	1,000

Onde: NDVI (Índice de vegetação da diferença normalizada); SAVI (índice de vegetação ajustado ao solo); EVI (Índice de vegetação ajustado); G (Área Basal); N (Densidade – n° indivíduos por hectare), * (correlações de moderada a alta).

Tabela 6. Correlação entre variáveis alométricas e índices de vegetação para fisionomia Típico.

	Volume (m ³ /há)	G (m ² /ha)	N (ind./ha)	NDVI	SAVI	EVI
Volume (m ³ /há)	1,000					
G (m ² /ha)	-0,331	1,000				
N (m ³ /ha)	-0,198	0,082	1,000			
NDVI	-0,653*	-0,120	0,183	1,000		
SAVI	-0,624*	-0,105	0,141	0,992*	1,000	
EVI	-0,613*	-0,129	0,131	0,992*	0,999*	1,000

Onde: NDVI (Índice de vegetação da diferença normalizada); SAVI (índice de vegetação ajustado ao solo); EVI (Índice de vegetação ajustado); G (Área Basal); N (Densidade – nº indivíduos por hectare), * (correlações de moderada a alta).

Tabela 7. Correlação entre variáveis alométricas e índices de vegetação para fisionomia Ralo.

	Volume (m ³ /há)	G (m ² /ha)	N (m ³ /ha)	NDVI	SAVI	EVI
Volume (m ³ /há)	1,000					
G (m ² /ha)	0,567*	1,000				
N (m ³ /ha)	0,504*	0,770*	1,000			
NDVI	-0,197	-0,030	-0,017	1,000		
SAVI	0,362	0,856*	0,436*	-0,020	1,000	
EVI	0,381	0,859*	0,444*	-0,024	0,999*	1,000

Onde: NDVI (Índice de vegetação da diferença normalizada); SAVI (índice de vegetação ajustado ao solo); EVI (Índice de vegetação ajustado); G (Área Basal); N (Densidade – nº indivíduos por hectare), * (correlações de moderada a alta).

Reis et al. (2018), estudou a correlação entre variáveis espectrais como índices de vegetação e variáveis dendométricas como a idade, em plantios de *Eucalyptus sp.*, em Minas Gerais, Brasil. Este estudo observou correlações significativas com área basal, volume e altura dominante com os índices de vegetação e bandas do espectro, especialmente para os plantios de 5 anos, encontrou correlação de 0,812 para área basal e 0,543 para volume com o índice NDVI, já para SAVI, encontrou 0,857 para área basal e 0,466 para volume, também foi utilizado área basal e volume por unidade de área.

Santos et al. (2017) estudou parâmetros florestas a partir de índices extraídos de imagens do Landsat 8 em remanescentes de cerrado de Tocantins, recomendou o NDVI para estimar parâmetros (avaliou NDVI, SAVI e bandas), obtendo correlação inversa para este índice. Correlacionado a área basal e NDVI, Santos et al. (2017), encontrou 0,77, já para volume a correlação com este índice foi de -0,61.

A correlação entre parâmetros florestais e dados do sensoriamento remoto vem sendo corroborada também em outras pesquisas, como de Watzlawick, Kirchner e Sanquetta (2009); Berra et al. (2012); Leal et al. (2013); Almeida et al. (2015); Lima Junior et al (2014); Barros, (2015); Miguel et al. (2015); Santos et al (2017).

5.1. ESCOLHA DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO

O índice de vegetação com maior correlação em relação ao volume é o EVI, de forma geral. Enquanto o EVI chegou a valores de 0,706 (correlação) os índices NDVI e SAVI apresentaram correlações ligeiramente inferiores, independente das fisionomias (Tabelas 5, 6 e 7).

O NDVI é considerado um índice satisfatório para estudos ecológicos. Entretanto, o índice está diretamente ligado à atividade fotossintética e área foliar e está imune à saturação, geralmente o mais utilizado (HUETE et al., 2002; VACCHIANO, 2018). O uso de outros índices pode oferecer melhores resultados, pois normalmente a relação entre NDVI e a vegetação pode ser bastante tendenciosa em áreas com vegetação de densidade baixa pelo fato de o valor do índice ser bastante influenciado pela refletância do solo.

O SAVI também sofre interferências, principalmente o efeito do solo sobre grandes áreas de pixel (PETTORELLI et al., 2005). Já o Índice de vegetação ajustado (EVI), além de ter apresentado melhor correlação com o volume, foi escolhido por ser um índice que já é ajustado com as possíveis variações espaciais e temporais da vegetação, minimizando as interferências normalmente presentes nos demais índices analisados (PETTORELLI et al., 2005; VACCHINO et al., 2018).

O EVI tem sido utilizado para diversos usos, como para monitoramento, Scrivani et al. (2014) com o intuito de testar métodos para fazer uma análise espaço-temporal da mudança do uso do solo, utilizou análise de séries temporais, a partir de índices de vegetação, NDVI e EVI, utilizando um algoritmo K-means. O índice que apresentou melhor resultado foi o EVI, especialmente para áreas de densa vegetação.

Junges et al. (2016) mostrou que o EVI consegue discriminar a intensidade de pastejo durante qualquer estação, o que não ocorre com índices como o NDVI, em seu trabalho no bioma pampa, que tinha como intuito analisar o uso potencial dos índices de vegetação para discriminar as intensidades de pastejo em pastagens naturais.

Danelichen et al. (2015) utilizou EVI e NDVI para estimar a produção bruta, variável importante no ciclo do carbono, a partir do modelo VPM (modelo de fotossíntese da vegetação), observou que o EVI apresentou melhor resultado, nas correlações de 0.94 e 0.92 com a produção primária, para EVI e NDVI respectivamente.

5.2. AJUSTE E SELEÇÃO DE MODELOS MATEMÁTICOS PARA ESTIMATIVA DE VOLUME PARA AS DIFERENTES FISIONOMIAS AVALIADAS.

A qualidade da equação ajustada deve ser avaliada por meio de indicadores de ajuste ou parâmetros de comparação. Uma simples análise da correlação entre variáveis dependentes e independentes nem sempre é satisfatória, há ocasiões em que é necessário saber o quanto as variáveis independentes explicam a variação da variável dependente ou ainda qual a acurácia de um modelo (SANQUETTA et al., 2014).

O modelo *Geometric Fit* foi o que apresentou melhor ajuste para a fisionomia denso, com um erro padrão de 11,32% e coeficiente de correlação de 0,8. Todos os outros modelos também apresentaram a precisão requerida, com erro padrão máximo de 5,35 m³/ha, conforme a tabela 8.

Tabela 8. Resultados estatísticos e coeficientes ajustados para os modelos de estimativa de volume em m³/ha utilizado o EVI para a fisionomia denso.

Modelo	α	β	γ	Syx (m ³ /ha)	Syx (%)	r
<i>Geometric Fit</i>	929,8611	9,1945		4,31	11,32	0,80
<i>Linear Fit</i>	-0,9912	80,8869		5,04	13,25	0,71
<i>Logistic</i>	-0,0576	-1,0034	0,0037	5,12	13,45	0,75
<i>Modified Geometric fit</i>	57,4756	0,2672		5,35	14,07	0,66
<i>Modified Hoerl</i>	9,0508	62,7195	9,8804	4,50	11,82	0,82

Em que, α , β e γ são os coeficientes ajustados, Syx é o erro padrão da estimativa, em m³/ha e em porcentagem (%) e r é o coeficiente de correlação.

Já para a fisionomia típico, o modelo que apresentou o melhor ajuste foi o modelo *Modified Geometric fit*, com um erro padrão de 11,59%, com um coeficiente de 0,63. Os outros modelos também apresentaram se mostraram eficientes, conforme a tabela 9.

Tabela 9. Resultados estatísticos e coeficientes ajustados para os modelos de estimativa de volume em m³/ha utilizado o EVI para a fisionomia típico.

Modelo	α	β	γ	Syx(m ³ /ha)	Syx (%)	r
<i>Geometric Fit</i>	3,0563	-6,0134		2,97	11,92	0,60
<i>Linear Fit</i>	46,5854	-44,5626		2,93	11,73	0,61
<i>Logistic</i>	4,3006	-1,0028	0,3991	3,05	12,21	0,62
<i>Modified Geometric fit</i>	16,6635	-0,2614		2,89	11,59	0,63
<i>Modified Hoerl</i>	4,7007	5,4419	2,5519	3,02	12,13	0,63

Em que, α β e γ são os coeficientes ajustados, Syx é o erro padrão da estimativa, em m³/ha e em porcentagem (%) e r é o coeficiente de correlação.

O melhor ajuste para a fisionomia ralo foi a do modelo *Geometric Fit*, apresentando coeficiente de correlação de 0,71 e erro padrão de 12,78%. Além do *Geometric Fit*, o outro modelo que ajustou aos dados foi o *Modified Hoerl*, com erro padrão de 1,88 m³/ha os demais modelos não ofereceram ajustes adequados, conforme a tabela 10.

Tabela 10. Resultados estatísticos e coeficientes ajustados para os modelos de estimativa de volume em m³/ha utilizado o EVI para a fisionomia ralo.

Modelo	α	β	γ	Syx (m ³ /ha)	Syx (%)	r
<i>Geometric Fit</i>	200,5646	7,8614		1,70	12,78	0,71
<i>Linear Fit</i>	8,5576	9,7008		2,24	16,81	0,39
<i>Logistic</i>	0,0032	-0,9996	- 0,00027	2,28	17,13	0,46
<i>Modified Geometric fit</i>	13,7034	0,0288		2,38	17,90	0,20
<i>Modified Hoerl</i>	14,0414	3,3184	3,5280	1,88	14,14	0,68

Em que, α β e γ são os coeficientes ajustados, Syx é o erro padrão da estimativa, em m³/ha e em porcentagem (%) e r é o coeficiente de correlação.

O uso de dados do sensoriamento remoto vem sendo amplamente utilizado para estimar parâmetros biofísicos. Outras pesquisas já demonstraram que, para Eucalipto,

utilizando-se a divisão simples (SR) e NDVI, foi verificado que com nível de 95 % de confiança, que estes índices explicam 68 % da variação de volume de madeira. As regressões múltiplas geradas com as bandas espectrais e os índices de vegetação explicam o volume de madeira de uma forma melhor que as regressões simples geradas com estas mesmas variáveis, individualmente (BERRA et al., 2012).

Vacchino et al. (2018) treinou redes neurais artificiais para se obter biomassa a partir de imagens de satélite, usando o índice de vegetação melhorada (EVI), em vegetação nativa e exótica no norte da Itália, obteve erro amostral de -9% e de -23% para coníferas e folhosas respectivamente.

O uso da quantificação da produção florestal pela ferramenta é amplamente utilizado, apesar de que em florestas heterogêneas, o uso ainda é incipiente, por possuir alta diversidade florística e fisionômica (WALTZLAWICK et al., 2009; MIGUEL et al., 2015).

Mireles et al. (2017), buscando relação entre área basal, volume e biomassa, obtidos em inventários e índices de vegetação em nativas do sudoeste do México, obteve boas correlações que gerou ajustes que explicavam 52%, 54% e 60% os dados área basal, volume e biomassa, respectivamente, dos valores reais, oferecendo um bom ajuste.

Avaliando a possibilidade de utilizar só sensoriamento remoto óptico e por micro-ondas para estimar biomassa vegetal de áreas de cerrado em São Paulo, verificou-se que a estimativa de biomassa lenhosa aérea por imagens de radar forneceu resultados satisfatórios, que permitiram determinar um modelo que descreve o comportamento do sinal de radar em função da quantidade de biomassa lenhosa aérea em fisionomias do bioma cerrado (KUNTSCHIK, 2004).

Dentre os índices de vegetação testados, o EVI foi o único selecionado para a predição do volume de madeira. Os modelos ajustados explicaram os valores observados em 63% na floresta estacional semi-decidual submontana, Espírito Santo (GONÇALVES, 2018). Já Pham, Yoshino e Nguyen (2016), encontraram resultados ainda mais satisfatórios em nativas, com a proposição de estimar volume de madeira anual em florestas diferentes, ajustaram modelos que conseguiram explicar os valores reais em 80% a 82%, para três tipos florestais, usando também o EVI (PHAM; YOSHINO; NGUYEN, 2016).

Campos e Leite (2017) ressaltam que embora o coeficiente de determinação seja de uso comum, é uma estatística não tão importante para avaliar o processo de modelagem,

sendo apenas um indicador relativo do ajustamento, necessitando para uma boa análise, principalmente a do erro padrão da estimativa e a análise gráfica dos resíduos.

Assim, através dos Gráficos de dispersão de resíduos, de classes de erro e de dispersão do observado pelo estimado é possível verificar como os resíduos se comportam, comprovando a escolha dos modelos.

A análise dos gráficos de resíduos, da fisionomia denso, mostra que os cinco modelos apresentam resultados semelhantes, embora fazendo uma análise mais minuciosa dos gráficos de dispersão é possível perceber que os modelos *Geometric* e *Modified Hoerl* têm a distribuição de resíduos mais homogênea, enquanto os modelos restantes tendem a subestimar os valores reais, ainda é possível observar, nos gráficos de classes de erros, que o modelo *Geometric* tem maior parte dos erros concentrados no intervalos de 5 a 10% (Figura 5).

Os gráficos de classes de erros da fisionomia típico mostram um comportamento de distribuição normal, onde a maior parte dos erros estão concentrados no intervalo de $\pm 10\%$. O modelo *Modified Geometric*, *Geometric* e *Linear* apresentam melhor distribuição de dados nos gráficos dos valores observados pelos estimados, no entanto, dentre esses o *Modified Geométric* é aquele que tem o erro mais concentrado em classes de erros mais baixas no intervalo de $\pm 5\%$ (Figura 6).

Os gráficos de dispersão dos dados observados pelo estimado, da fisionomia ralo, dos modelos *Linear*, *Logistic* e *Modified Geometric* apresentaram comportamento de dados concentrados não apresentando uma boa correlação, também é possível verificar a ineficácia dos ajustes quando se observa os gráficos de classes de erros, onde estes (erros) estão concentrados em magnitudes inferiores a -15% (Figura 7).

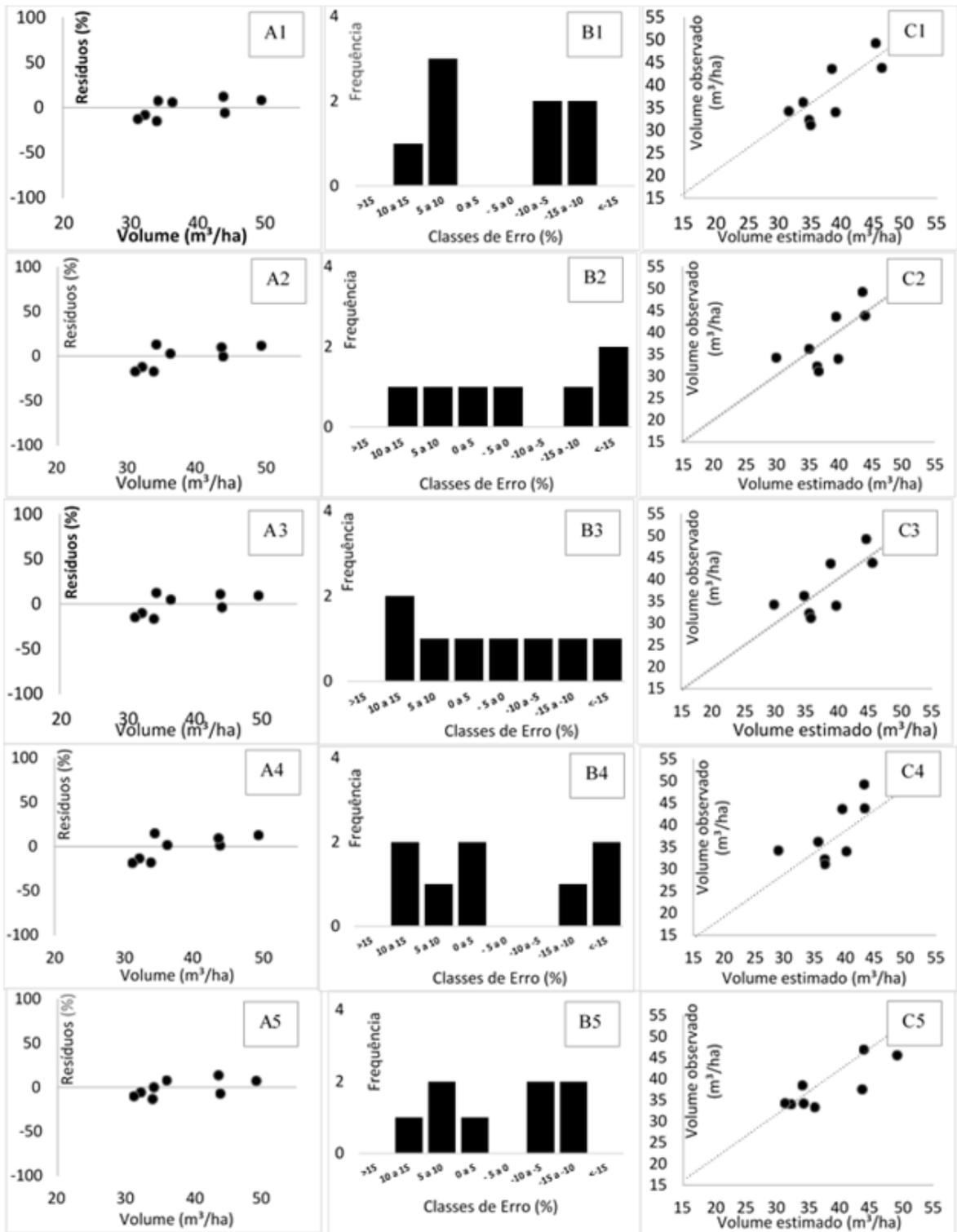


Figura 5. Gráficos de dispersão de resíduos (A), de classes de erro (B) e de dispersão do observado pelo estimado (C) para a fisionomia Denso. A1, B1, C1: Modelo *Geometric*; A2,B2,C2: Modelo *Linear*; A3, B3, C3: Modelo *Logistic*, A4, B4, C4: Modelo *Modified Geometric*; A5,B5, C5: Modelo *Modified Hoerl*

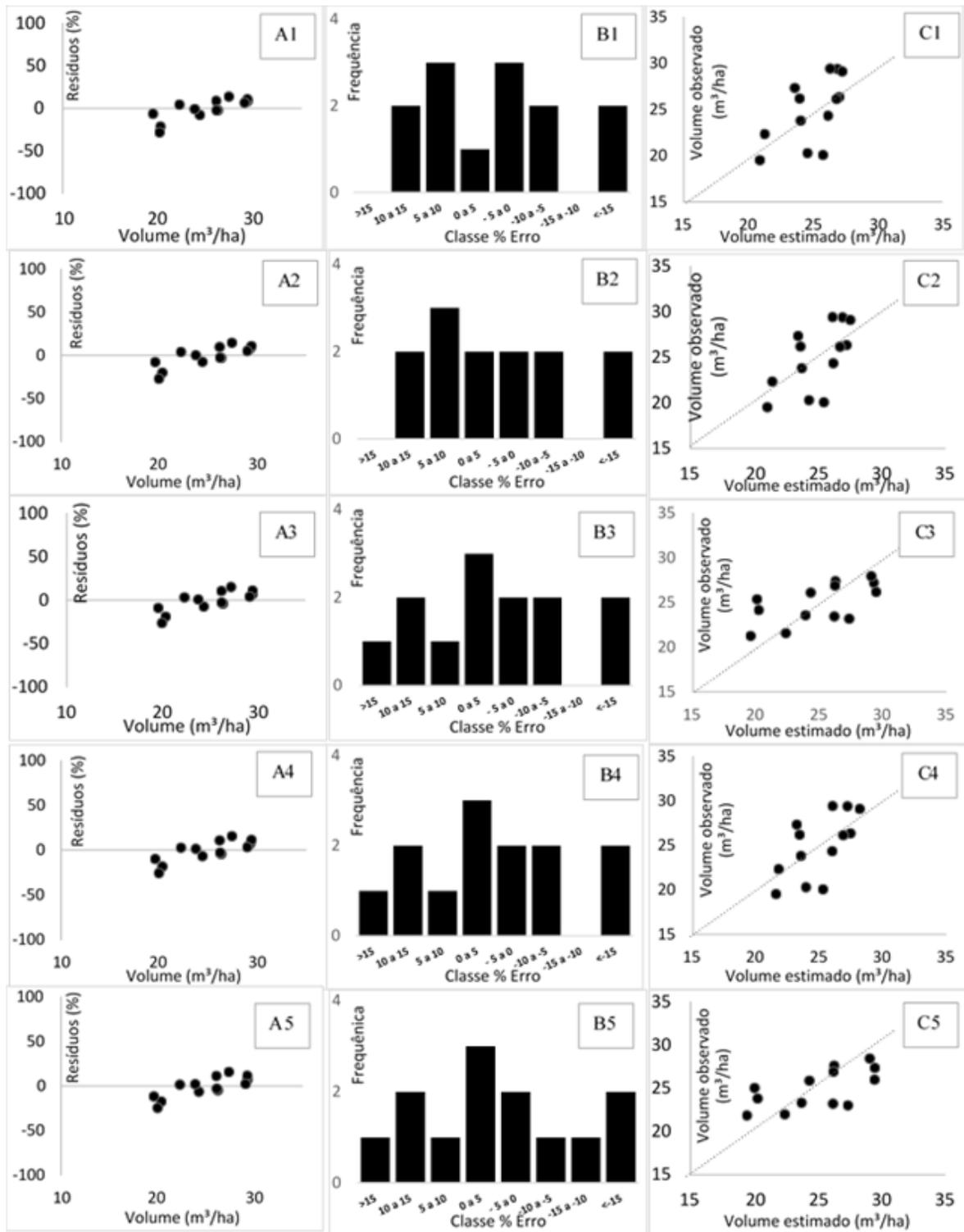


Figura 6. Gráficos de dispersão de resíduos (A), de classes de erro (B) e de dispersão do observado pelo estimado (C) para a fisionomia Típico. A1, B1, C1: Modelo *Geometric*; A2,B2,C2: Modelo *Linear*; A3, B3, C3: Modelo *Logistic*, A4, B4, C4: Modelo *Modified Geometric*; A5,B5, C5: Modelo *Modified Hoerl*.

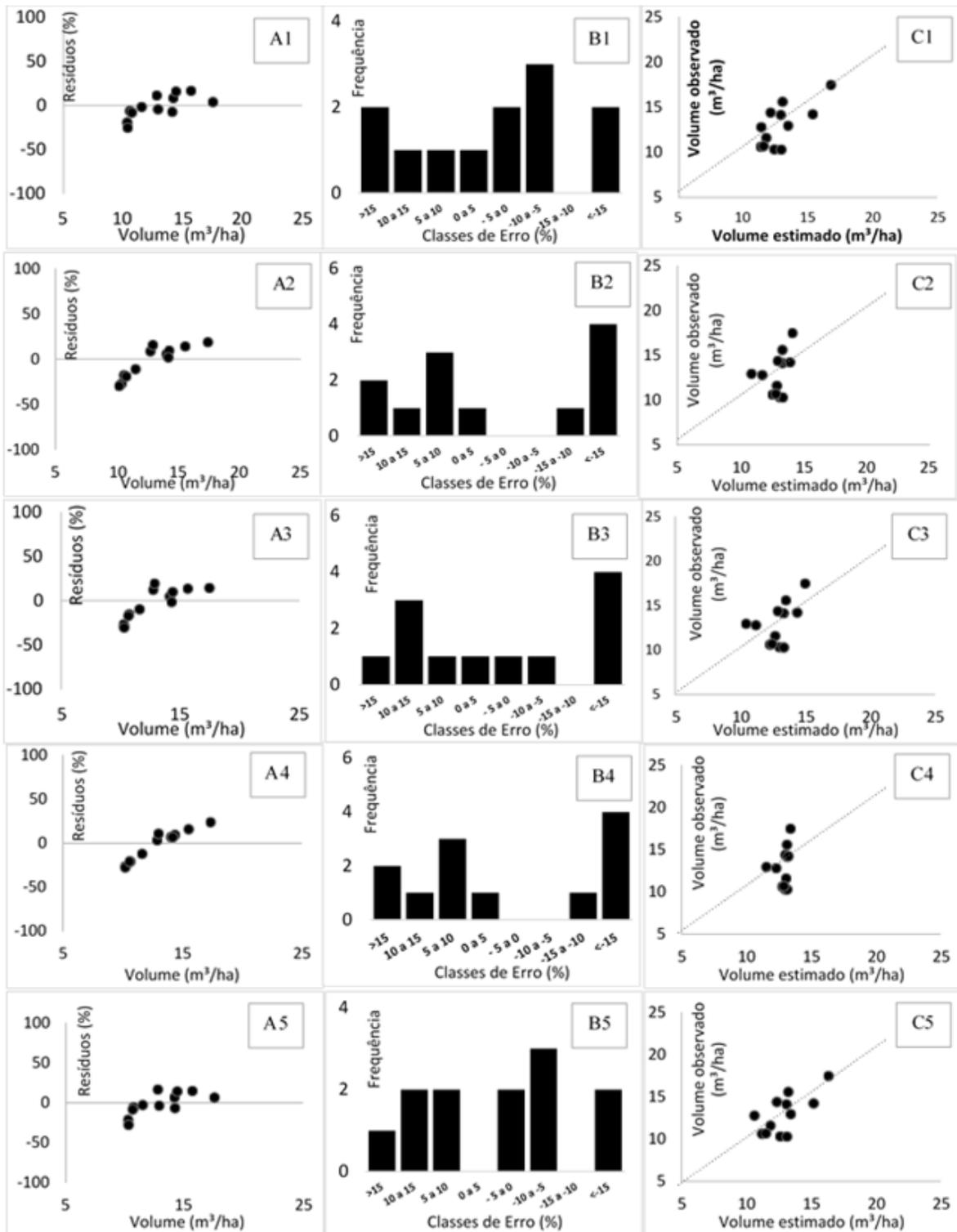


Figura 7. Gráficos de dispersão de resíduos (A), de classes de erro (B) e de dispersão do observado pelo estimado (C) para a fisionomia Ralo. A1, B1, C1: Modelo *Geometric*; A2,B2,C2: Modelo *Linear*; A3, B3, C3: Modelo *Logistic*, A4, B4, C4: Modelo *Modified Geometric*; A5,B5, C5: Modelo *Modified Hoerl*.

5.3. VALIDAÇÃO DOS MODELOS

Após a seleção do melhor modelo para cada fisionomia, procedeu-se a realização de um teste de validação da eficiência desses modelos.

Para tal, foi realizado o teste “t”, proposto por Zar (1999), teste feito com volumes estimados pareados pelo os seus observados em 30% das parcelas selecionadas aleatoriamente para cada tipo de fisionomia, o resultado pode ser observado na tabela 11.

Tabela 11. Validação do melhor modelo selecionado para cada fisionomia por meio do teste T.

Fisionomia	Modelo	“t” calculado	“t” crítico	Resultado	DA (%)
Denso	<i>Geometric Fit</i>	0,69	4,30	ns	3,25
Típico	<i>Modified Geometric fit</i>	1,77	3,18	ns	7,37
Ralo	<i>Geometric Fit</i>	0,22	3,18	ns	1,75

Em que t é o valor de t calculado (stat t), o t crítico é o bi-caudal (valor de referência); ns é não significativo; DA (%) é a diferença agregada em porcentagem.

O test t (Student) avalia a igualdade das médias de população de base em cada amostra; o teste foi aplicado em amostra dupla em par para determinar se as observações feitas antes e após um tratamento têm a probabilidade de serem provenientes de distribuições com médias de populações iguais. O teste é tradicionalmente utilizado para validar modelos selecionados por meio de dados pareados verificando se técnicas recentes podem substituir técnicas antigas (REZENDE et al., 2006; MIRANDA, 2012; MOTA, 2017).

Todos os modelos apresentaram como resultado “não significativo”, ou seja, de que “t” calculado não foi maior que o “t” crítico, isso representa que a média das diferenças entre os pares de dados é igual a 0. Então não há diferenças entre o que seria a expectativa e valor atual em curso, validando assim os modelos.

A diferença agregada apresentou valores baixos e positivos para as três fisionomias mostrando que os valores tendem a subestimar levemente os valores reais, principalmente a fisionomia típica (7,37%). Miguel et al. (2015) utilizando redes neurais para estimar parâmetros biofísicos para o Cerradão, com índices de vegetação, obteve valores negativos

tanto para volume de madeira total (-12,72%) quanto para volume do fuste (-15,29%), neste caso superestimando os valores.

5.6 RESULTADOS SEMELHANTES

Manzato (2018), com intuito de estimar o sequestro e estoque de carbono, em plantios de Eucaliptos de diferentes idades em São Paulo, utilizou o EVI, além do NDVI, SAVI e CO2FLUX, através destes índices conseguiu perceber que as idades de 4 e 5 anos assimilaram maiores quantidades de carbono.

Estudos apontam que independentemente da diversidade florística, heterogeneidade estrutural e complexidade do dossel, a área basal e os índices de vegetação derivados de imagens obtidas pelo sensor LISS-III, a bordo do satélite ResourceSat1, são eficazes nas estimativas do volume de madeira e biomassa em áreas de cerrado (MIGUEL, 2015).

Para estimar estoque de carbono em área de floresta Ombrófila madura, Andrade et al. (2016) usou os índices de vegetação: SR, EVI, NDVI, SAVI e PVI, no trabalho encontrou boas correlações, obtendo valores próximo aos valores reais da biomassa local. NAKAI (2016) trabalhando com vegetação florestal estacional sem decidual, fez estimativas de biomassa através dos índices de vegetação RS, NDVI, EVI e EVI2, o objetivo era verificar qual era a captura de carbono realizada em diferentes fitofisionomias neste tipo vegetativo.

6. CONCLUSÕES

Foi encontrado correlações moderadas a alta para o volume das fisionomias de cerrado denso e típico com os índices NDVI, EVI e SAVI. De forma geral, o índice EVI2 apresentou a melhor correlação com volume para maior parte as fisionomias do cerrado sentido restrito dentre os índices de vegetação testados, excetuando-se ralo que não obteve boas correlações.

Após o ajuste e seleção dos modelos, os erros ficaram no intervalo de $\pm 12,78\%$, sendo que o modelo recomendado para a fisionomia denso e ralo foi o *Geometric* e para a fisionomia típico o *Modified Geometric*. O volume médio estimado para a fisionomia denso, típico e ralo foram respectivamente $38,06 \pm 4,31 \text{ m}^3/\text{ha}$, $24,94 \pm 2,89 \text{ m}^3/\text{ha}$ e $12,91 \pm 1,70 \text{ m}^3/\text{ha}$.

É possível estimar com precisão o volume por unidade de área (hectare) tendo o índice de vegetação EVI2 derivados do satélite plêiades como variável preditora.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SABER, A. N. O domínio dos cerrados: introdução ao conhecimento. **Revista do Servidor Público**, v. 111, p. 41-55, 1983.

ALMEIDA, T. D.; MENESES, P. R. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília, DF: Universidade de Brasília– CNPq. Disponível em:< <http://www.cnpq.br/documents/10157/56b578c4-0fd5-4b9fb82a-e9693e4f69d8>> Acesso em 25 de julho de 2018., v. 11, 2012.

ALMEIDA, A. Q; RIBEIRO A.; DELGADO, R. C.; RODY, Y.P.; OLIVEIRA A. D.; LEITE, F. P. Índice de Área Foliar de Eucalyptus estimado por índices de vegetação utilizando imagens TM-Landsat 5. **Floresta e Ambiente, Seropédica**, v. 22, n. 3, p. 368-376, 2015.

ALVES, M. V. G.; CHIAVETTA, U.; KOEHLER, H. S.; AMARAL MACHADO, S.; KIRCHNER, F. F. Aplicação de k-nearest neighbor em imagens multispectrais para a estimativa de parâmetros florestais. **Floresta**, v. 43, n. 3, p. 351-362, 2013.

ANDRADE, D. D. Estimativas de carbono na cobertura vegetal da APA FERNÃO DIAS (mg) por meio de dados espectrais e de campo. **Caderno de Estudos Geoambientais-CADEGEO**, 2016.

BANNARI, A.; MORIN, D.; BONN F.; HUETE, A. R. A review of vegetation indices. **Remote sensing reviews**, v. 13, n. 1-2, p. 95-120, 1995.

BARROS, B. S. X.; GUERRA, S. P. S.; BARROS Z. X.; CATITA, C. M.; FERNANDES, J. C. C. C. Uso de imagens de satélite para cálculo de volume em floresta de eucalipto no município de Botucatu/SP. **ENERGIA NA AGRICULTURA**, v. 30, n. 1, p. 60-67, 2015.

BERRA, E. F.; BRANDELERO, C.; PEREIRA, R. S.; SEBEM, E.; GODOY GOERGEN, L. C.; 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**, v. 22, n. 4, p. 853-864, 2012.

BOLFE, E. L.; SOARES, R. P.; AZAMBUJA, P. R. D. M. Geoprocessamento e sensoriamento remoto aplicados à análise de recursos florestais. **Ciência Rural**, v. 34, n. 1, 2004.

BRENA, D. A.; NETO, S. P. **Inventário florestal**. Curitiba. 1997.

CALDAS, E. F.; GONÇALVES, D. A.; SANTOS, N. S.; TABOR, K.; STEININGER, M. Estimativas de perda da área do Cerrado brasileiro. **Conservação Internacional, Brasília, DF**, 2004.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. UFV, 2006.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração Florestal: Perguntas e Respostas. 5. ed.** Viçosa: Editora UFV, 2017.

CASTRO, E. A.; KAUFFMAN, J. B. Ecosystem structure in the Brazilian Cerrado: a vegetation gradient of aboveground biomass, root mass and consumption by fire. **Journal of tropical ecology**, v. 14, n. 3, p. 263-283, 1998.

CETEC. **Determinação de equações volumétricas aplicáveis ao manejo sustentado de florestas nativas no estado de Minas Gerais e outras regiões do país: relatório final**. Belo Horizonte, v. 294, 1995.

COUTINHO, L. M. O conceito de Cerrado. (The concept of Cerrado.). **Rev. Brasil. Bot**, v. 1, n. 1, p. 17-23, 1978.

DANCEY, C. P.; REIDY, J. **Estatística sem matemática para psicologia: SPSS Usando SPSS para Windows**. Editora: Artmed, 2006.

DANELICHEN, V. H.; BIUDES, M. S.; VELASQUE, M.; MACHADO, N. G.; GOMES, R. S.; VOURLITIS, G. L.; NOGUEIRA, J. S. Estimating of gross primary production in an

Amazon - Cerrado transitional forest using MODIS and Landsat imagery. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 87, n. 3, p. 1545-1564, 2015.

DIAS, B. “A Conservação da Natureza.” In **Cerrado: Caracterização, Ocupação e Perspectivas**, edited by Maria N. Pinto, 607-663. Brasília: Editora UnB, 1994.

EITEN, G. Formas fisionômicas do Cerrado. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 2, n. 2, p. 139-148, 1979.

FELFILI, J. M.; CARVALHO, F. A.; HAIDAR, R. F. **Manual para o monitoramento de parcelas permanentes nos biomas Cerrado e Pantanal**. Brasília: Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Florestal, 2005.

FERREIRA, L. G.; FERREIRA, N. C.; FERREIRA, M. E. Sensoriamento remoto da vegetação: evolução e estado-da-arte. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, v. 30, n. 4, p. 379-390, 2008.

FINGER, C. A. G. **Fundamentos de biometria florestal**. 1992.

FIGUEIREDO, D. B.; SILVA JUNIOR, J. A. D. Desvendando os mistérios do coeficiente de correlação de Pearson (r). **Rev Política Hoje**. 2009.18 (1): 115-45.

GOEDERT, W. J. **Solos dos cerrados: tecnologias e estratégias de manejo**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Sao Paulo (Brasil). Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados, 1985.

GONÇALVES, A. F. A. **Estimação de características dendrométricas para floresta estacional semidecidual submontana com o uso de dados oli e srtm**. 2018. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Espírito Santo.

HUETE, A. R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). Remote sensing of environment, v. 25, n. 3, p. 295-309, 1988.

HUETE, A. R. A.; DIDAN, K.; MIURA, T.; RODRIGUEZ, E. P.; GAO, X.; FERREIRA, L. G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote sensing of environment**, v. 83, n. 1-2, p. 195-213, 2002.

JIANG, Z. HUETE, A. R. A.; DIDAN, K.; MIURA, T. Development of a two-band enhanced vegetation index without a blue band. **Remote sensing of Environment**, v. 112, n. 10, p. 3833-3845, 2008.

JUNGES, A. H.; BREMM, C.; FONTANA, D. C.; OLIVEIRA, C. A. O. D.; SCHAPARINI, L. P.; CARVALHO, P. C. D. F. Temporal profiles of vegetation indices for characterizing grazing intensity on natural grasslands in Pampa biome. **Scientia Agricola**, v. 73, n. 4, p. 332-337, 2016.

JUSTICE, C. O.; VERMOTE, E.; TOWNSHEND, J. R.; DEFRIES, R.; ROY, D. P.; HALL, D. K.; LUCHT, W. 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. 1228-1249, 1998.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. Conservation of the Brazilian cerrado. **Conservation biology**, v. 19, n. 3, p. 707-713, 2005.

KUNTSCHIK, G. **Estimativa de biomassa vegetal lenhosa em cerrado por meio de sensoriamento remoto óptico e de radar**. 2004. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

LEAL, F. A.; MATRICARDI, E. A. T.; OLIVEIRA K. D.; ALMEIDA, G. D. S. Índice de vegetação na estimativa do volume em um povoamento de eucalipto. **Enciclopédia Biosfera**, v. 9, n. 17, p. 1638, 2013.

LIMA JUNIOR, C. D.; ACCIOLY, L. D. O; GIONGO, V.; LIMA, R. D. A.; SAMPAIO, E. D. S.; MENEZES, R. S. C. **Estimativa de biomassa lenhosa da caatinga com uso de equações alométricas e índice de vegetação**. Embrapa Solos-Artigo em periódico indexado (ALICE), 2014.

LOPES, A. S. **Solos sob " cerrado": características, propriedades e manejo**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1984.

LUCENA, A. P. O uso do IVDN no estudo da degradação ambiental de bacias hidrográficas do litoral sul do estado da Paraíba. 2014.

MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO-FILHO A. **Dendrometria**. Curitiba: Ed. do Autor, 2003.

MANZATO, C. L. **Estimativa de biomassa e estoque de carbono na cultura do eucalipto por meio de sensoriamento remoto**. 2018.

MENDONÇA, R. D.; FELFILI J. M.; WALTER, B. M. T.; SILVA JÚNIOR, M. D.; REZENDE, A. V.; FILGUEIRAS, T. S.; NOGUEIRA, P. E. **Flora vascular do cerrado**. In: **Cerrado: ambiente e flora**. Planaltina: Embrapa-Cpac, 1998.

MIGUEL, E. P.; REZENDE, A. V.; LEAL, F. A.; MATRICARDI, E. A. T.; VALE, A. T. D.; PEREIRA, R. S. Artificial neural networks for modeling wood volume and aboveground biomass of tall Cerrado using satellite data. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 9, p. 829-839, 2015.

MIRANDA, S. C. Variação espacial e temporal da biomassa vegetal em áreas de Cerrado. 2012.

MIRELES, M. A.; PÉREZ MIRANDA, R.; ROMERO SÁNCHEZ, M. E.; GONZÁLEZ HERNÁNDEZ, A.; MARTÍNEZ ÁNGEL, L. Estimación de la densidad forestal mediante imágenes Landsat ETM+ en la región sur del Estado de México. **Revista mexicana de ciencias forestales**, v. 8, n. 41, p. 30-55, 2017

MMA, Ministério do Meio Ambiente. **Cerrado**. Disponível no site <http://www.mma.gov.br/biomas/cerrado>, acessado em 15 de novembro de 2018.

MYNENI, R. B.; HALL, F. G.; SELLERS, P. J.; MARSHAK, A.L. The interpretation of spectral vegetation indexes. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 33, n. 2, p. 481-486, 1995.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C.G.; FONSECA, G. A.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, n. 6772, p. 853, 2000.

MOORE, D. S; KIRKLAND, S. **The basic practice of statistics**. New York: WH Freeman, 2007.

MOTA, F. C. M. **Biomassa, fluxos de carbono e energia em área de Cerrado sentido restrito e plantio de eucalipto no Distrito Federal**. 2017.

NAKAI, E. S. **Quantificação da biomassa e estoque de carbono em diferentes coberturas vegetais por meio de sensoriamento remoto**. 2016. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

OTTMAR, R. D.; VIHMANEK, R. E.; MIRANDA, H. S.; SATO, M. N.; ANDRADE, S. M. A. Séries de estéreo-fotografias para quantificar a biomassa da vegetação do cerrado no Brasil Central. **Brasília: USDA, USAID, UnB**, 2001.

PETTORELLI, N.; VIK, J. O.; MYSTERUD, A.; GAILLARD, J. M.; TUCKER, C. J.; STENSETH, N. C. Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. **Trends in ecology & evolution**, v. 20, n. 9, p. 503-510, 2005.

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**, v. 24, n. 4, p.181-186, 2016.

PINHEIRO, E. S.; DURIGAN, G. Diferenças florísticas e estruturais entre fitofisionomias do Cerrado em Assis, SP, Brasil. **Revista Árvore**, v. 36, n. 1, 2012.

PRADO JUNIOR, J. A.; FARIA LOPES, S.; VALE, V. S.; NETO, O. C.D.; SCHIAVINI, I. Comparação florística, estrutural e ecológica da vegetação arbórea das fitofisionomias de um remanescente urbano de cerrado. **Bioscience Journal**, v. 28, n. 3, 2012.

REIS, A. A. D.; ACERBI JÚNIOR, F. W.; MELLO, J. M.; CARVALHO, L. M. T. D.; GOMIDE, L. R. Relationship Between Spectral Data and Dendrometric Variables in Eucalyptus sp. Stands. **Floresta e Ambiente**, v. 25, n. 2, 2018.

REZENDE, A. V.; VALE, A. D.; SANQUETTA, C. R.; FIGUEIREDO FILHO, A.; FELFILI, J. M. Comparação de modelos matemáticos para estimativa do volume, biomassa e estoque de carbono da vegetação lenhosa de um cerrado sensu stricto em Brasília, DF. **Scientia Forestalis**, v. 71, n. 2, p. 65-73, 2006.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do bioma Cerrado. **Embrapa Cerrados-Capítulo em livro científico**, 1998.

ROSATTI, N. B.; SILVA, D. M.; BATALHA, M. A. Loss of phylogenetic and functional originalities of woody cerrado species in simulated extinction scenarios. **Austral Ecology**, v. 40, n. 3, p. 267-274, 2015.

ROUSE JR, J.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D.W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. 1974.

SANQUETTA, C.; CORTE, A.; RODRIGUES, A.; WATZLAWICK, L. Inventários Florestais: Planejamento e Execução - 3a. edição. **Curitiba: Dos Autores**, 2014.

SANTOS, A. R. **Geotecnologias & Análise Ambiental: Aplicações Práticas**. 2015.

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 Landsat 8. **Floresta**, v. 47, n. 1, p. 75-84, 2017.

SILVA, J. M. C.; BATES, J. M. Biogeographic Patterns and Conservation in the South American Cerrado: A Tropical Savanna Hotspot: The Cerrado, which includes both forest and savanna habitats, is the second largest South American biome, and among the most threatened on the continent. **AIBS Bulletin**, v. 52, n. 3, p. 225-234, 2002.

SCARIOT, A.; SILVA, J. C.; FELFILI, J. M. **Cerrado: ecologia, biodiversidade e conservação**. Ministério do Meio Ambiente, 2005.

SCHIASSI, M. C. E. V.; SOUZA, V. R.; LAGO, A. M. T.; CAMPOS, L. G.; QUIROZ, F. Fruits from the Brazilian Cerrado region: Physico-chemical characterization, bioactive compounds, antioxidant activities, and sensory evaluation. **Food chemistry**, v. 245, p. 305-311, 2018.

SCRIVANI, R.; AMARAL, B. F. D.; GONLAÇVES, R. R. D. V.; SOUSA, E. P. M. D.; ZULLO JUNIOR, J.; ROMANI, L. A. S. Identificação da mudança de uso da terra usando técnicas de agrupamento de séries temporais de imagens de satélite. **Simpósio de Geotecnologias no Pantanal**, V, 2014.

SIMON, M. F.; GREYER, R.; QUEIROZ, L. P.; SKEMA, C.; PENNINGTON, R. T.; HUGHES, C. E. Recent assembly of the Cerrado, a neotropical plant diversity hotspot, by in situ evolution of adaptations to fire. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, p. pnas. 0903410106, 2009.

SOARES, C. P. B; NETO, F.; SOUZA, A. L. **Dendrometria e inventário florestal**. UFV, 2006.

SOUZA, C.; AZEVEDO MOREIRA, 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**, v. 17, n. 4, p. 409-417, 2007.

TORRES, D.; FONTES, M. A. L.; SAMSONAS, H. P. Relações solo-vegetação na estruturação de comunidades de cerrado sensu stricto no sul de Minas Gerais, Brasil. **Rodriguésia**, v. 68, n. 1, 2017.

VACCHIANO, G.; BERRETTI, R.; MOTTA, R.; MONDINO, E. B. Assessing the availability of forest biomass for bioenergy by publicly available satellite imagery. 2018.

VIBRANS, A. C.; SEVGANANI, L.; LINGNER, D. V.; GASPER, A. L.; SABBAGH, S. Inventário florístico florestal de Santa Catarina (IFFSC): aspectos metodológicos e operacionais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 30, n. 64, p. 291, 2010.

XUE, J.; SU, B. Significant remote sensing vegetation indices: A review of developments and applications. **Journal of Sensors**, v. 2017, 2017.

WATZLAWICK, L.; KIRCHNER, F.; SANQUETTA, C. Estimativa de biomassa e carbono em floresta com araucaria utilizando imagens do satélite Ikonos II. **Ciência Florestal**, v. 19, n. 2, p. 169-181, 2009.

ZAR, J. H. Biostatistical analysis. 1999. **Upper Saddle River**, NJ, 1999.

8. ANEXOS

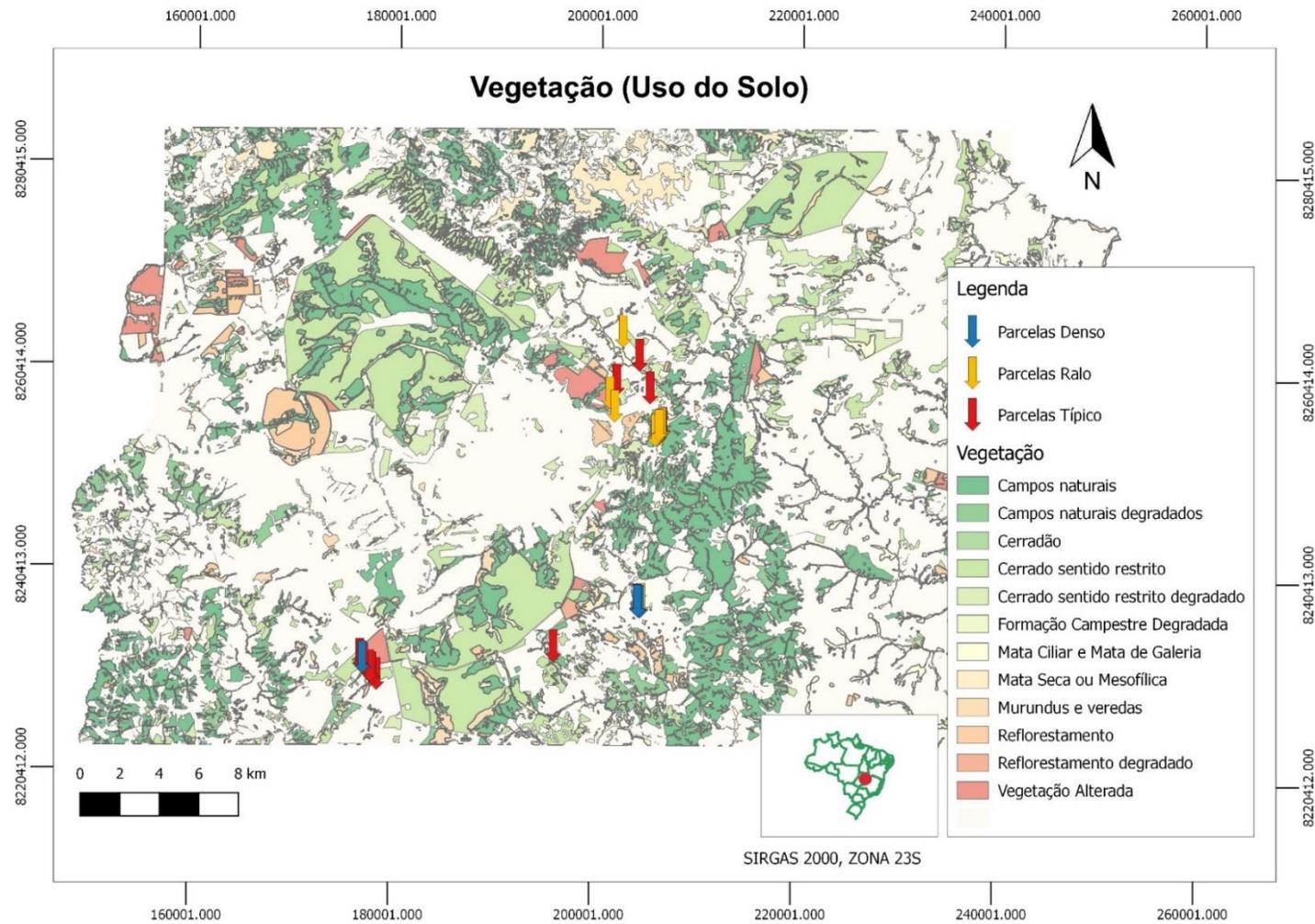


Figura 8. Mapa de vegetação - Distribuição Parcelas (GDF. Governo do Distrito Federal. Zoneamento Ecológico Econômico do Distrito Federal. Mapa de uso e cobertura de terra. 2010).

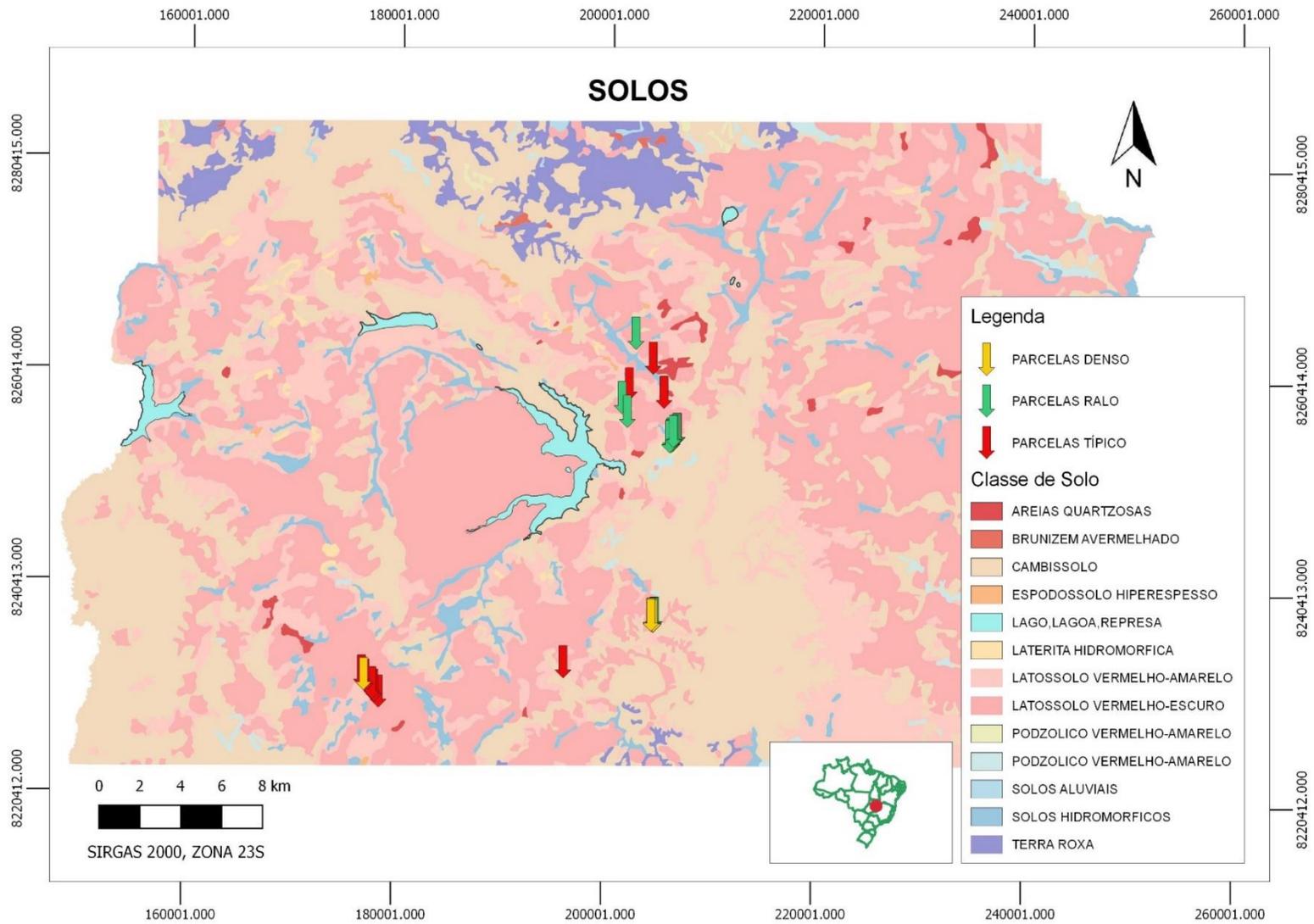


Figura 9. Mapa Solos - Distribuição de Parcelas. (GDF. Governo do Distrito Federal. Zoneamento Ecológico Econômico do Distrito Federal. Mapa solos. 2010).