



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE SAÚDE E TECNOLOGIA RURAL
CAMPUS DE PATOS – PB
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS
FLORESTAIS**



ADRIEL LUCENA DE AZEVEDO

**LEVANTAMENTO FITOSSOCIOLÓGICO E ESTIMATIVA DE BIOMASSA
AÉREA DE UMA ÁREA DE CAATINGA COM USO DE EQUAÇÕES
ALOMÉTRICAS E GEOTECNOLOGIAS**

PATOS – PARAÍBA – BRASIL

2020

ADRIEL LUCENA DE AZEVEDO

**LEVANTAMENTO FITOSSOCIOLÓGICO E ESTIMATIVA DE BIOMASSA
AÉREA DE UMA ÁREA DE CAATINGA COM USO DE EQUAÇÕES
ALOMÉTRICAS E GEOTECNOLOGIAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, da Universidade Federal de Campina Grande, *Campus* de Patos/ PB, na área de Ecologia, Manejo e Utilização dos Recursos Florestais, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais.

Orientadora: Prof. Dra. Joedla Rodrigues de Lima

PATOS – PARAÍBA – BRASIL

2020

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA DO CSTR

- A9941 Azevedo, Adriel Lucena de
 Levantamento fitossociológico e estimativa de biomassa aérea de uma
 área de caatinga com uso de equações alométricas e geotecnologias / Adriel
 Lucena de Azevedo. – Patos, 2020.
 79f.; il. color.
- Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal
 de Campina Grande, Centro de Saúde e Tecnologia Rural, 2020.
- “Orientação: Profa. Dra. Joedla Rodrigues de Lima”.
- Referências.
1. Sensoriamento remoto. 2. Semiárido. 3. Índice de vegetação.
- I. Título.

CDU 528.8

ADRIEL LUCENA DE AZEVEDO

**LEVANTAMENTO FITOSSOCIOLÓGICO E ESTIMATIVA DE BIOMASSA
AÉREA DE UMA ÁREA DE CAATINGA COM USO DE EQUAÇÕES
ALOMÉTRICAS E GEOTECNOLOGIAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais.

Aprovada em: 21 de fevereiro de 2020.

Joedla Rodrigues de Lima
Prof. Dr.ª Joedla Rodrigues de Lima

Universidade Federal de Campina Grande (CSTR/PPGCF/UFCG)
(Orientadora)

Olaf Andreas Balke
Prof. Ph.D. Olaf Andreas Balke

Universidade Federal de Campina Grande (CSTR/PPGCF/UFCG)
(1º Examinador)

Francisco das Chagas Vieira Sales
Prof. Dr. Francisco das Chagas Vieira Sales

Universidade Federal de Campina Grande (CSTR/PPGCF/UFCG)
(2º Examinador)

A meus pais: Adenilson Batista de Azevedo e Maria José Lucena de Azevedo. A minha esposa Ruana, a meu filho Miguel, à minha avó Francisca Antônia da Silva (Nina).

Dedico

AGRADECIMENTOS

Primeiro a Deus, pela graça da vida;

À minha família, por ter me apoiado em todos os momentos durante esta árdua caminhada. Especialmente aos meus pais: Adnilson Batista de Azevedo e Maria José Lucena de Azevedo, pelo suor derramado durante a minha caminhada acadêmica;

Ao meu filho Miguel, por me inspirar e me dar forças para que eu possa lutar por dias melhores para a nossa família. Eu te amo e dedico este trabalho a você;

À minha companheira, Ruana Miranda, pela paciência e sempre me apoiar nas horas que precisei e todo amor e carinho para com a nossa família;

À professora Dra. Ivonete Alves Bakke, pela disponibilidade em ajudar sempre que precisei.

À professora e orientadora Dra. Joedla Rodrigues de Lima, pela paciência durante o desenvolvimento deste trabalho;

Ao professor Dr. Francisco da Chagas Vieira Sales por todo apoio e empenho nas horas em que precisei e pelas orientações para que pudesse concluir este trabalho;

Ao professor Dr. Lúcio Valério Coutinho de Araújo, por ter cedido a área para que o estudo fosse realizado;

A Sávio, Jailson, Kettyn, pelas contribuições e amizade durante as coletas de campo e fases da pesquisa;

Aos membros da banca examinadora, pelas contribuições e sugestões;

A todos os professores que contribuíram na minha jornada, para que pudesse concluir mais esta etapa na minha vida.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	5
2 REVISÃO DE LITERATURA	7
2.1 Bioma Caatinga	7
2.2 Levantamento e análise de vegetação.....	8
2.3 Biomassa.....	9
2.4 Modelos matemáticos para estimativa de biomassa no bioma Caatinga.....	10
2.5 Sensoriamento Remoto.....	12
2.5.1 Energia eletromagnética	13
2.6 Índice de Vegetação.....	16
2.6.1 Índices de vegetação sensíveis a planta-água.....	19
CAPÍTULO 1: COMPOSIÇÃO FLORÍSTICA FITOSSOCIOLÓGICA DE UM FRAGMENTO DE CAATINGA, EM SÃO JOSÉ DE ESPINHARAS, PARAÍB, BRASIL .	26
RESUMO.....	27
INTRODUÇÃO.....	29
MATERIAL E MÉTODOS.....	31
2.1 Caracterização da área de estudo.....	31
2.2 Inventário Florestal.....	32
2.3 Análise florística e fitossociológica.....	32
2.3.1 Agregação das espécies	33
2.3.2 Diversidade.....	34
2.3.3 Estrutura Horizontal	36
2.3.5 Estrutura Vertical.....	38
3. RESULTADO E DISCUSÕES	36
3.1 Composição florística.....	39
3.2 Diversidade.....	42
3.3 Padrão espacial de distribuição.....	43
3.4 Estrutura Horizontal	45
3.5 Estrutura Diamétrica.....	48
3.6 Estrutura Vertical.....	49
4 CONCLUSOES	52

CAPÍTULO II: ESTIMATIVA DE BIOMASSA AÉREA DE CAATINGA COM USO DE EQUAÇÕES ALOMÉTRICAS E ÍNDICES DE VEGETAÇÃO	58
RESUMO.....	59
INTRODUÇÃO.....	61
MATERIAL E MÉTODOS.....	63
2.1 Área de estudo	63
2.2 Estrutura amostral e inventário florestal.....	63
2.2.1 Cálculo da biomassa por parcela amostrada.....	64
2.3 Dados de Sensoriamento Remoto.....	64
2.3.1 Obtenção dos valores de reflectância dos índices de vegetação.....	65
2.5 Análise estatística	65
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	66
CONCLUSÕES	72

Azevedo, Adriel Lucena. **Levantamento fitossociológico e estimativa de biomassa aérea de uma área de Caatinga com uso de equações alométricas e geotecnologias**. Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais. CSTR/UFCG, Patos-PB. 2020. 78P.

RESUMO GERAL

O domínio do bioma Caatinga abrange uma área considerável do território brasileiro. A vegetação predominante é a vegetação Caatinga, rica em espécies endêmicas com características peculiares de adaptação às condições climáticas, desempenhando um importante papel ecológico, econômico e social. A vegetação vem sendo alterada há muito tempo por ações antrópicas, substituindo a cobertura vegetal para diversos fins econômicos. Diante disso, o objetivo deste estudo foi realizar um levantamento fitossociológico da vegetação arbustiva-arbórea e estimar a biomassa lenhosa de um fragmento de Caatinga localizado no município de São José de Espinharas, Paraíba, através de equação alométrica e Sensoriamento Remoto. Para atender aos objetivos, foi realizado um inventário florestal, em que foram instaladas e georreferenciadas 20 parcelas de 20 m x 20 m (400 m²) totalizando uma área amostrada de 0,8 ha onde foram medidos todos os indivíduos com CAP maior ou igual a 6 cm. Na área de estudo foram amostrados 1145 indivíduos, sendo as famílias mais representativas: Fabaceae e Euphorbiaceae. As espécies que se destacaram com maior valor de importância foram *Poincianella pyramidalis*, *Mimosa tenuiflora*, *Aspidosperma pyrifolium* e *Croton blanchetianus*. Na quantificação de biomassas geradas por índices de vegetação (NDVI, STVI-1, STVI-2, STVI-3 STVI-4) e equações alométricas, constatou-se que os índices utilizados apresentaram alta correlação com os dados, sendo os valores mais altos do coeficiente de determinação e menor desvio padrão residual, para os índices STVI-4 e STVI-1, sendo considerado o melhor modelo aquele com maior valor de coeficiente de determinação e menor desvio padrão residual, foi escolhido o modelo gerado pelo índice de vegetação STVI-4 com $R^2= 0,75$ e desvio padrão residual igual a 4,77 t/ha. Os resultados mostraram que esse índice pode ser utilizado em áreas de Caatinga, carecendo de mais estudos para colaborar com os resultados alcançados.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto, semiárido, Índice de vegetação.

Azevedo, Adriel Lucena. **PHYTOSOCIOLOGICAL SURVEY AND AERIAL BIOMASS ESTIMATION OF AN AREA OF CAATINGA USING ALLOMETRIC EQUATIONS AND GEOTECHNOLOGIES**. Master's Dissertation in Forest Sciences CSTR/UFCG, Patos-PB. 2020. 78pgs.

ABSTRACT

The domain of the Caatinga biome covers a considerable area of the Brazilian territory. The predominant vegetation is Caatinga vegetation, rich in endemic species with peculiar characteristics of adaptation to climatic conditions, playing an important ecological, economic and social role. The vegetation has been altered for a long time by human actions, replacing the vegetation cover for several economic purposes. Therefore, the objective of this study was to carry out a phytosociological survey of the shrub-tree vegetation and estimate the woody biomass of a fragment of Caatinga located in the city of São José de Espinharas, Paraíba using an allometric equation and Remote Sensing. To meet the objectives, a forest inventory was carried out, in which 20 plots of 20m x 20m (400 m²) were installed and georeferenced, totaling a sampled area of 0.8 ha, where all individuals with a CAP greater than 6 cm were measured. . In the study area, 1,145 individuals were sampled, whose most representative families were Fabaceae and Euphorbiaceae, a data similar to other studies in similar areas. The species that stood out with the greatest importance were *Poincianella pyramidalis*, *Mimosa tenuiflora*, *Aspidosperma pyrifolium*, *Croton blanchetianus* and *Combretum leprosum*. In the quantification of biomass generated by vegetation indices (NDVI, STVI-1, STVI-2, STVI-3 STVI-4) and allometric equations, it was found that the indices used showed a high correlation with the data, with the highest values being of the determination coefficient and the lowest residual standard deviation, for the STVI-4 and STVI-1 indices, the one with the highest determination coefficient value and residual standard deviation being considered the best model, the model generated by the STVI-4 with $R^2 = 0.75$ and residual standard deviation equal to 4.77 t/ha. The results showed that this index can be used in areas of Caatinga, requiring further studies to collaborate with the results achieved.

Keywords: Remote sensing, semiarid, Vegetation Index.

1 INTRODUÇÃO

O domínio do Bioma Caatinga abrange uma área de aproximadamente 900 000 km², compreendendo os estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, sudoeste do Piauí e o interior da Bahia, e o norte de Minas Gerais (ANDRADE et al., 2005).

O bioma apresenta vegetação com características peculiares que garantem a sua sobrevivência nas condições de clima e solo encontradas nessa região semiárida. A Caatinga vem sendo alterada para o desenvolvimento de práticas agrícolas, pecuária extensiva e retirada de lenha para fins energéticos (GARIGLIO et al., 2010), situação que vem contribuindo para a degradação ambiental do bioma.

Estimativas do ano de 2006 indicam que há uma demanda de aproximadamente 34,5 milhões de metros estéreos de lenha na região, para atender, principalmente, o setor da indústria, comércio e uso doméstico (RIEGELHAUPT; PAREYN, 2010). E essa informação demonstra a importância de um planejamento de uso da vegetação Caatinga de forma sustentável, para garantir o atendimento desta demanda.

A biomassa florestal como fonte de energia na região semiárida utilizada principalmente pelas olarias e indústrias de panificação contruibui sobremaneira para a degradação ambiental e perda da biodiversidade local. A maior parte desse material é proveniente de supressão ilegal da vegetação, sem que haja um controle e planejamento através de um plano de manejo florestal.

De acordo com Riegelhaupt; Pareyn (2010), a vegetação da Caatinga pode ser uma alternativa para o suprimento energético da região nordeste, quando submetida a um plano de manejo florestal sustentável, apresentando as seguintes vantagens: espécies adaptadas à seca, elevada capacidade de rebrota por tocos e raízes; grande potencial de produção; baixo custo de implementação de um plano de manejo florestal; rápida resposta produtiva; complementação e convivência com outros usos do solo; impacto ambientais positivos; benefícios sociais; conservação de outros valores e serviços ambientais.

Para que seja possível planejar a exploração sustentável da vegetação Caatinga, é preciso ter uma estimativa quantitativa do estoque da biomassa de sua vegetação. Essa estimativa pode ser obtida por medição direta ou indireta utilizando técnicas de geoprocessamento, imagens de sensores remotos e equações alométricas (LIMA JÚNIOR et al., 2014).

Diante dos avanços tecnológicos nas técnicas de sensoriamento remoto e de processamento das imagens tem melhorado o uso destas tecnologias referente à quantificação da biomassa (WATZLAWICK et al., 2009). A utilização destas tecnologias é de baixo custo e tem oferecido bons resultados na estimativa da variável biomassa lenhosa de vegetação (COSTA et al., 2001; ACCIOLY et al., 2008).

Os dados para gerar essas estimativas são provenientes de inventário florestal em que são obtidas informações de altura e diâmetro dos indivíduos lenhosos. Estas informações são processadas e analisadas em um Sistema de Informação Geográfica – SIG em associação com as características espectrais de radiância/reflectância advinda dos sensores remotos.

Devido à escassez de estudos que investiguem a relação entre a biomassa lenhosa calculada com equações alométricas e variáveis advindas de sensores remotos como os índices de vegetação, este estudo foi realizado com objetivo de fazer um levantamento fitossociológico e estimar a biomassa lenhosa utilizando equação alométrica e Sensoriamento Remoto de um fragmento de Caatinga, localizado no município de São José de Espinharas, Paraíba.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Bioma Caatinga

O bioma Caatinga está localizado no semiárido brasileiro, considerada a região semiárida mais habitada do mundo (DRUMOND et al., 2008). Apesar de ser o único bioma natural brasileiro cujos limites estão restritos ao território nacional, pouca atenção tem sido dada à conservação da diversidade e da paisagem (BEZERRA et al., 2013).

A vegetação da Caatinga apresenta grande variação fisionômica, sobretudo no que se refere à densidade e porte das plantas, geralmente associada a uma alteração ambiental. Como exemplo, pode-se citar o maior porte das plantas nos vales e do menor porte nos lajedos e solos rasos devido à disponibilidade hídrica (AMORIM et al., 2005).

A cobertura vegetal é constituída por plantas xerófilas, as Caatingas, muito diversificada por causa de fatores climáticos, edáficos, topográficos e antrópicos. Ao lado desta formação predominante, existem também as florestas de relevo, que correspondem a florestas perenifólias e sub perenifólias dos brejos de altitude e encostas expostas aos fluxos úmidos de ar e de florestas semi decíduas, as florestas ripárias e os cerrados (ALVES et al., 2009).

A região onde está localizado o bioma se caracteriza por apresentar terrenos cristalinos praticamente impermeáveis e terrenos sedimentares onde existe uma quantidade significativa de água subterrânea. A maioria dos solos, com raras exceções, são poucos desenvolvidos, quimicamente ricos, pedregosos e pouco espessos e com baixa capacidade de retenção de água, cuja limitação da produção primária da região é atribuída a esses fatores de acordo com (Alves et al., 2009).

Apesar da significativa extensão e importância socioeconômica e de ser exclusiva do território brasileiro, a Caatinga é o menos protegido dos biomas brasileiros, com menos de 2% de sua área sob regime de unidades de conservação integral (TABARELLI et al., 2000).

A maior parte das espécies são herbáceas, cactáceas, bromeliáceas, arbustivas e arbóreas de pequeno porte. Aproximadamente 70% da vegetação caatinga encontra-se alterada, e apenas 2% de sua área protegida na forma de unidades de conservação. A degradação da área acontece principalmente por ações antrópicas, desmatamento e queimadas de áreas florestadas, para prática agrícola, pecuária extensiva e extração de lenha para fins energéticos (DRUMOND et al., 2000; TABARELLI et al., 2000; GARIGLIO et al., 2010).

2.2 Levantamento e análise de vegetação

A análise de florestas nativas deve contemplar uma abordagem criteriosa da composição florística; dos parâmetros fitossociológicos das estruturas horizontal e vertical; e das arquiteturas; iluminação e classe de copa; porte e sanidade dos troncos das árvores; infestação de cipós e identificação de espécies raras (SOUSA; SOARES, 2013).

O conhecimento e o entendimento da complexa dinâmica que envolve as florestas tropicais têm início pelo levantamento florístico, sendo a identificação e comportamento das espécies em comunidades vegetais o início de todo processo para entendimento de um ecossistema (MARANGON et al., 2003).

De acordo com Carvalho; Nascimento (2009), estudos que envolvem a estrutura de populações e comunidades de plantas são fundamentais para o entendimento dos padrões de distribuição e ocorrência das espécies, bem como para elaboração de estratégias de manutenção, recuperação e conservação dos remanescentes florestais.

A análise da composição florística refere-se à identificação, diversidade e associação das espécies existentes em uma área. Os estudos relacionados com a composição florística iniciam-se com a coleta de material botânico, se possível fértil, das espécies arbóreas, que deverá ser condicionado em jornais e em corrugados de alumínio, etiquetados, prensados, seco em estufa e enviados a um herbáreo, onde o material será expurgado, classificado e, quando possível, identificado (SOUZA, 2009; SOUSA; SOARES, 2013).

Para avaliar a diversidade de espécies de uma área, são utilizados alguns índices, estes índices abrangem o conceito de riqueza e uniformidade de espécies tais como os Índices de diversidade de Shannon ('H), Simpson (C), Pielou, Jentsch (QM), dentre outros (SOUSA; SOARES, 2013).

Através de estudos fitossociológicos são identificados parâmetros quantitativos de uma determinada comunidade vegetal, tais como, abundância, relações de dominância e importância relativas, bem como a possibilidade de fazer inferências sobre a distribuição espacial de cada espécie (RODRIGUES; GANDOLFI, 1998; TABARELLI et al., 1999).

O surgimento dos estudos fitossociológicos ocorreu devido à necessidade de compressão dos processos ecológicos nos ecossistemas naturais, passando a fornecer dados referentes às comunidades vegetais dos diferentes biomas, juntamente com a descrição da composição, estrutura, distribuição e dinâmica das espécies (FELFILI; VENTUROLU, 2000).

A partir do conhecimento dos parâmetros fitossociológicos, é feita a caracterização do papel exercido por cada espécie, nas comunidades vegetais, servindo também para inferir os

estágios sucessionais e avaliação da influência de fatores, tais como clima, solo e ação antrópica dessas áreas (GROMBONE et al., 1990).

A caracterização fitossociológica das florestas nativas pode ser feita mediante a interpretação de vários parâmetros fitossociológicos, referentes a valores e índices obtidos a partir de dados coletados em campo. Pela caracterização fitossociológica são obtidos os parâmetros de estrutura horizontal, vertical e dendrométricos da floresta. (RODRIGUES; GANDOLFI, 1998; SOUSA; SOARES, 2013).

2.3 Biomassa

As florestas tropicais são as principais fontes de depósito de carbono para o mundo, desempenhando um importante papel no que se refere às mudanças climáticas, pelo sequestro de carbono proveniente do processo de fotossíntese para composição de sua biomassa total (NAKI et al., 2015).

A biomassa lenhosa expressa uma medida de produção lenhosa, tamanho dos indivíduos arbóreos e também a importância ecológica desses indivíduos num ecossistema florestal (BATISTA et al., 2014). Os estudos de biomassa florestal são realizados com objetivos diversos, nos quais se destacam: a quantificação da ciclagem de nutrientes, sequestro de carbono e acúmulo de biomassa (PÁSCOA et al., 2004).

A biomassa arbórea é conceitualmente entendida como biomassa seca da árvore, incluindo a casca, e pode ser vista como medida da produção lenhosa, tamanho dos indivíduos e importância ecológica num determinado ecossistema florestal (BATISTA et al., 2014).

Ao contrário do volume, a biomassa não se refere apenas ao seu lenho, mas a todos os seus componentes. Nesse sentido, temos a biomassa aérea e a subterrânea. A parte aérea é formada pelo tronco e pela copa, e a parte subterrânea é constituída pelas raízes. Porém, maioria dos estudos tende a estudar a biomassa aérea (BATISTA et al., 2014). A biomassa é estimada a partir de medidas tomadas diretamente na árvore, utilizando um dos seguintes métodos de medição de biomassa na árvore: (1) o método gravimétrico e (2) o método volumétrico. Em função disto, a biomassa não pode ser medida diretamente, como acontece com a massa (BATISTA et al., 2014).

Em uma abordagem confiável de estimativa de biomassa, é necessária uma amostragem destrutiva, na qual são analisados diversos componentes da árvore que variam de acordo com o tipo de floresta e os objetivos a serem alcançados (SOCHER et al., 2008).

Há também método apoiado em equações alométricas entre a variável biomassa, que é de difícil obtenção, com variáveis que são facilmente coletadas em campo, como o diâmetro e a altura. O uso deste método bastante eficaz e vantajoso se baseia em ajustes de modelos matemáticos a uma base de dados pré-disponibilizada pelo método direto, obtida em levantamentos anteriores no mesmo sítio ou em áreas estruturalmente e floristicamente similares (BARRETO et al., 2018).

Os estudos de estimativa de biomassa utilizam modelos de regressão lineares ou não lineares, cujas variáveis independentes são as características diretamente mensuráveis das árvores amostradas, como altura e diâmetro, e as variáveis dependentes estão representadas pela massa de matéria seca dos componentes ou de carbono (SOARES et al., 2006).

Entretanto, os avanços tecnológicos referentes às imagens provenientes de sensores remotos e processamento de imagem possibilitaram uma melhor caracterização da estrutura das florestas e conseqüentemente de sua biomassa e carbono estocado. O objetivo das técnicas de geoprocessamento na estimativa destas variáveis é associar o conteúdo de biomassa e carbono obtidos por métodos destrutivos aos dados de radiância\reflectância de índices de vegetação gerados a partir de imagens de satélites e produzir estimativas confiáveis de biomassa e carbono estocado (WATZLAWICK et al., 2009).

O índice de vegetação para estimativa de biomassa já foi aplicado por diversos autores (WATZLAWICK et al., 2009), (WATZLAWICK et al., 2006), (MACIEL et al., 2009), (BOLFE et al., 2012), (BOLFE et al., 2009). Nesses trabalhos, no geral, constatou-se forte correlação entre os índices utilizados e a biomassa mensurada.

2.4 Modelos matemáticos para estimativa de biomassa no bioma Caatinga

Modelo matemático é uma formulação matemática baseada em hipóteses que tentam imitar fenômenos físicos ou biológicos, com objetivo de gerar uma equação que permita estimar quantitativamente os fenômenos estudados a um determinado nível de probabilidade (SILVA, 2015). Na sua forma analítica, o modelo é formado de variáveis (dependentes e independentes), parâmetros e um erro associado, no caso de um modelo probabilístico, por exemplo:

$$V_i = \beta_0 + \beta_1 DAP_i + \beta_2 H_i + \epsilon_i$$

Em que: V_i = Volume da árvore i (variável dependente); DAP_i = Diâmetro a altura do peito da árvore i (variável independente); H_i = Altura da árvore i (variável independente); $\beta_0, \beta_1, \beta_2$ = Parâmetros do modelo; ϵ_1 = Erro aleatório.

De acordo com Silva (2015), a equação gerada pelo modelo só deve ser aplicada para o conjunto de dados dos respectivos domínios em que ela foi gerada. Um erro bastante comum são as extrapolações para outros domínios que podem gerar resultados inconsistentes decorrentes de “ n ” fatores que alteram os valores dos coeficientes.

É bastante comum fazer um teste de validação, a partir de um banco de dados coletados para um local e aplicar a equação desenvolvida em outro local e, através de um método estatístico, testar a hipótese de nulidade. Uma técnica mais precisa consiste em usar a estrutura do modelo desenvolvido para outra região e ajustá-lo aos dados, gerando uma equação específica para tal local (SILVA, 2015).

Alguns trabalhos realizados para ajustar modelos matemáticos para estimar a biomassa de espécies da Caatinga já foram realizados. Almeida et al. (2014) utilizaram modelos de regressão linear múltipla para estimar as características dendrométricas da Caatinga a partir de dados do sensor TM do Landsat 5. No trabalho, foram utilizadas as bandas espectrais do sensor TM: B1, 0,45 a 0,52 μm ; B2, 0,52 a 0,60 μm ; B3, 0,63 a 0,69 μm ; B4, 0,76 a 0,90 μm ; B5, 1,55 a 1,75 μm ; e B7 2,08 a 2,35 μm . Dessas bandas foram estimados três índices de Vegetação: A razão simples (SR); Vegetação por diferença normalizada (NDVI) e o de vegetação ajustado ao solo (Savi).

No trabalho de Almeida et al. (2014), verificou-se que a área basal não se correlacionou significativamente com nenhuma variável explicativa obtida do sensor TM, enquanto a altura total média das árvores e o volume de madeira por hectare obtiveram uma forte correlação com essas variáveis. A banda vermelha do espectro eletromagnético e os índices NDVI e SAVI, derivados do Landsat 5, são as principais variáveis que explicam a variação em altura e volume de madeira por hectare, para a vegetação de Caatinga analisada.

Lana et al. (2018) estudaram durante cinco anos, uma área de 50 ha, considerada pouco alterada (retirada de produtos florestais para manutenção de cercas), localizada no município de Floresta-PE. Estes autores geraram equações com razoável precisão estatística que podem ser utilizadas para estimar de forma confiável a variável biomassa em regiões de Caatinga com características semelhantes à área estudada.

Silva; Sampaio (2008) desenvolveram equações alométricas para estimar a biomassa de nove espécies arbustivas e arbóreas da Caatinga. Os autores identificaram que a variável que melhor estimou a biomassa das espécies estudadas (pequenas e grandes) foi o DAP.

As seleções das espécies nas áreas de Caatinga foram realizadas com base em inventários fitossociológicos, sendo escolhidas aquelas que apresentam maior valor de importância, conseqüentemente maior densidade absoluta (LANA et al., 2018; BARRETO et al., 2018). A determinação da biomassa foi realizada com base na estrutura diamétrica identificada nos inventários florestais e que são aplicadas em estudos na região (ALVES et al., 2017; ABREU, 2012).

As espécies amostradas são divididas em classes diamétricas de onde são retiradas amostras de cada indivíduo para serem abatidas e separadas as partes como caule, ramos e folhas, para serem pesadas e determinado o peso úmido. Feito isso, é retirada uma amostra aleatória representativa de cada compartimento para determinação do peso seco em laboratório. O tamanho da amostra varia de 0,05 a 2 kg (LANA et al., 2018). Após esse procedimento, é realizado o cálculo de biomassa seca para cada compartimento (BARRETO et al., 2018), dada a fórmula:

$$Bs = Pu(c) \cdot Ps(a) / Pu(a)$$

Onde: Bs= Biomassa seca por compartimento (Kg); Pu (c) = peso úmido total no campo por compartimento (Kg); Ps (a) = peso, peso seco da amostra por compartimento (kg); Pu (a) = massa úmida da amostra por compartimento (kg).

2.5 Sensoriamento Remoto

Nas últimas quatro décadas, o planeta Terra passou a ser monitorado por sensores imageadores que capturam informações da superfície terrestre. Tais sensores obtêm imagens periódicas que possibilitam a monitoração do ambiente em uma escala global e a obtenção de melhores informações acerca dos recursos naturais (MENEZES; ALMEIDA, 2012).

O termo Sensoriamento Remoto foi cunhado no início dos anos de 1960 por Evelyn L. Pruitt e colaboradores, considerada uma das mais bem-sucedidas tecnologias de coleta automática de dados para monitorar os recursos terrestres (MENESES; ALMEIDA, 2012). O surgimento do sensoriamento remoto ocorreu devido ao espetacular desenvolvimento da área espacial nessa década, que ficou conhecida como a década da corrida espacial.

De acordo com Novo (1992), Sensoriamento Remoto é uma tecnologia que utiliza um conjunto moderno de sensores, equipamentos para processamento de dados, equipamentos de transmissão de dados, aeronaves, espaçonaves etc. O Sensoriamento Remoto tem como objetivo estudar o ambiente terrestre através de registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias que compõem o planeta Terra em suas mais diversas manifestações.

Um marco importante para o sensoriamento remoto foi o lançamento, pelos Estados Unidos, do primeiro satélite de sensoriamento remoto, ERTS-1, chamado posteriormente de Landsat 1, colocado em órbita no ano de 1972. Esse sensor imageador multiespectral possibilitava a aquisição simultânea de quadro imagens na faixa espectral do visível e do infravermelho próximo e uma no termal (MENESES; ALMEIDA, 2012).

Atualmente, a resolução espectral das imagens provenientes de sensores imageadores ultrapassa centenas de bandas, e a resolução espacial pode ser de 1 metro, o que possibilita suas aplicações nas áreas de levantamento de recursos naturais e mapeamentos temáticos, monitoração ambiental, detecção de desastres naturais, desmatamentos florestais, previsões de safras, cadastramentos multifinalitários, cartografia de precisão, defesa e vigilância, entre outras (MENESES; ALMEIDA, 2012).

Os dados obtidos por sensoriamento remoto orbital podem auxiliar na estimativa de biomassa e produtividade de culturas agrícolas e florestais; no monitoramento de estresse hídrico e do vigor das plantas e avaliação do estágio fenológico (BRANDÃO, 2009).

2.5.1 Energia eletromagnética

O Sensoriamento Remoto está diretamente ligado à medida da radiação eletromagnética, refletida ou emitida pelos alvos da superfície terrestre, e também ao tratamento e a disponibilização dessa informação numa forma passível de interpretação (MOREIRA, 2011).

O sol é a principal fonte de energia eletromagnética disponível para o sensoriamento remoto. A radiação emitida por esse astro trafega no espaço a uma velocidade de $3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$ e se constitui no mais útil campo de força da atividade do Sensoriamento Remoto. É através dela que ocorre a transferência de informação entre as substâncias ou objetos de interesse do Sensoriamento Remoto e a essa energia emitida dá-se o nome de fluxo radiante (NOVO, 1992).

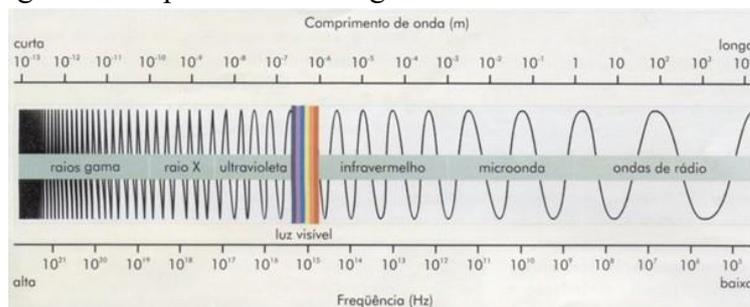
A energia eletromagnética se propaga no espaço na forma de onda. Cada comprimento de onda possui uma energia, uma frequência (Hz) e um comprimento (λ). A frequência é o

número de vezes que a onda se repete por unidade de tempo e o comprimento é a distância entre dois picos de ondas sucessivos (FLOREZANO, 2007; MOREIRA, 2011).

Esse conjunto de características forma o espectro eletromagnético. Isaac Newton provou que a radiação emitida pelo sol poderia ser separada em um espectro colorido, tal como ocorre em um arco-íris. Sua teoria foi demonstrada ao decompor a luz branca através de um prisma (MOREIRA, 2011).

O espectro eletromagnético (Figura 1) representa a distribuição da radiação eletromagnética, por regiões, segundo o comprimento de onda e a frequência (FLOREZANO, 2007).

Figura 1 – Espectro Eletromagnético

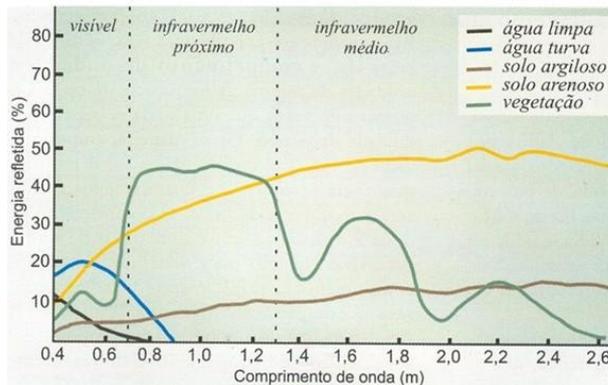


Fonte: Florezano, 2007.

Ele abrange desde curtos comprimentos de ondas, como os raios cósmicos e os raios gama, de alta frequência, até longos comprimentos de onda, como as ondas de rádio e TV, de baixa frequência.

De acordo com Florezano (2007), os alvos ou objetos da superfície terrestre, tais como água, solo e vegetação, absorvem, transmitem e refletem a radiação eletromagnética em proporções diferentes, que variam com o comprimento de onda e suas características bio-físico-químicas. As variações da energia refletida podem ser representadas por curvas de reflectância (Figura 2.)

Figura 2– Curva espectral da vegetação, água e solo



Fonte: Florezano, 2007

Pela Figura 2, observa-se que, na região da luz visível, a vegetação (verde e sadia) reflete mais energia na faixa correspondente ao verde. No entanto, verifica-se que é na faixa do infravermelho próximo que a vegetação reflete mais energia e se diferencia dos demais objetos. A curva do solo tem comportamento mais uniforme, sofre menor variação de energia refletida em relação à vegetação. A água limpa reflete menos energia na região do visível e praticamente nenhuma energia na região do infravermelho, ao passo que a água turbida (com material em suspensão ou poluída) reflete mais energia na região do visível.

Para fins de Sensoriamento Remoto dos alvos terrestres, admite-se que a emissão de energia proveniente do Sol assemelha-se à de um corpo negro com temperatura equivalente a 5900 K, pois a configuração do fluxo radiante em termos espectrais é bastante complexa, em virtude das grandes variações de temperatura na superfície do Sol e a interação com certas regiões da atmosfera terrestre (NOVO, 1992)

Na natureza, toda matéria a uma temperatura absoluta acima de zero ($^{\circ}\text{K}$) emite energia. A partir dessa informação, todo corpo com temperatura absoluta acima de zero pode ser considerado como fonte de radiação (NOVO, 1992).

A intensidade da energia que uma fonte de radiação eletromagnética emite pode ser calculada pelo modelo desenvolvido por Planck (Equação 1), que idealizou uma fonte padrão de radiação eletromagnética a qual chamou de corpo negro. O corpo negro é um modelo físico e teórico de um absorvedor e emissor perfeito de energia eletromagnética. Esse modelo é usado para calcular a quantidade máxima de intensidade radiante que uma fonte emite em um dado comprimento de onda, em função de sua temperatura de superfície, é dado por:

$$E_{\lambda} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5 \left[\exp\left(\frac{hc}{\lambda kT}\right) - 1 \right]} \quad (1)$$

Onde:

E_{λ} = energia radiante espectral medida em $W m^{-2} \mu m^{-1}$;
 h = constante de Planck = $6,6256 \times 10^{-34} W.s^2$;
 c = velocidade da luz = $2,997925 \times 10^8 m.s^{-1}$
 K = constante de Boltzman = $1,38054 \times 10^{-23} W s ^{\circ}K^{-1}$
 T = temperatura absoluta (em $^{\circ}K$) da fonte.

2.6 Índice de Vegetação

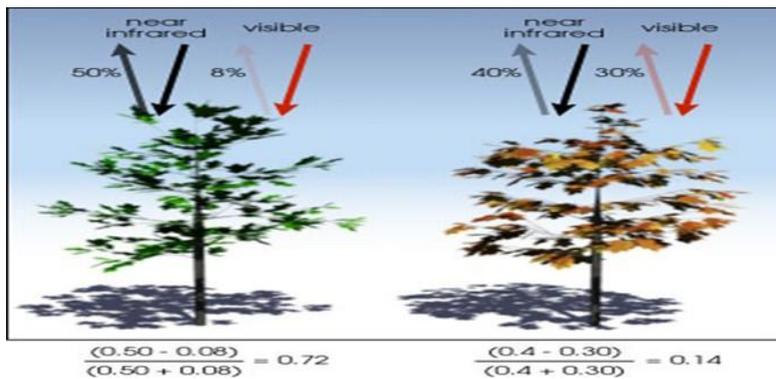
Uma das aplicações do Sensoriamento Remoto é o uso de imagens para obtenção do Índice de Vegetação (IV). As imagens de índice de vegetação são modelos numéricos provenientes de assinaturas espectrais da vegetação e são utilizadas para melhor avaliar as propriedades de reflectância em cada faixa do espectro eletromagnético (KUNTSCHIK, 2004; SHIRATSUCHI et al., 2014).

De acordo com Ponzoni et al. (2012), diversos índices de vegetação têm sido propostos com o objetivo de estudar suas propriedades espectrais, principalmente nas regiões do visível e do infravermelho próximo. Esses índices são relacionados a parâmetros biofísicos da cobertura vegetal, tais como biomassa e índice de área foliar, e minimizam os efeitos de iluminação de cena, declividade da superfície e geometria de aquisição, que influenciam os valores de reflectância da vegetação.

Geralmente, quanto maior for a radiação refletida em comprimentos de onda próximos ao infravermelho em relação aos comprimentos de onda na faixa do visível, é um indicativo de que a vegetação no pixel da imagem provavelmente será densa, podendo conter algum tipo de floresta (Figura 3). Caso exista pouca diferença na intensidade dos comprimentos de onda visíveis e no infravermelho próximo, infere-se que a vegetação é provavelmente esparsa, podendo ser constituída de pastagem, tundra ou deserto (WEIER J.; HERRING D., 2000).

A vegetação saudável (a esquerda) absorve a maior parte da luz visível que a atinge. A vegetação insalubre e esparsa (a direita) reflete mais luz visível e menos luz na faixa do infravermelho, como mostra os valores representativos de NDVI.

Figura 3 – Reflectância da vegetação na faixa do vermelho e infravermelho próximo



Fonte: Weier J.; Herring D (2000)

A baixa reflectância das folhas na região do visível é decorrente da absorção da radiação solar pela ação dos pigmentos fotossintetizantes, ao passo que a alta reflectância na região do infravermelho próximo decorre do espalhamento (reflectância e transmitância) da radiação no interior das folhas em função de sua estrutura celular (PONZONI et al., 2012).

A radiação eletromagnética nas folhas depende da sua composição química e estrutura interna. Em se tratando de dosséis vegetais, a diferença da reflectância da cobertura vegetal em diferentes bandas espectrais depende, sobretudo, da quantidade de folhas e da arquitetura dos dosséis. No geral, o que mais se verifica é que a forma da curva de reflectância de um dossel assemelha-se com a curva de reflectância de folhas isoladas que o compõem (PONZONI, 2012).

Em relação à geração de imagens de índices de vegetação, uma operação muito importante é a transformação dos números digitais da imagem para valores de Reflectância Bidirecional Aparecente - FRB, para obter valores compatíveis com os trabalhos disponíveis na literatura. A não conversão dos números digitais em valores físicos – como radiância e FRB – na criação de imagem de índice de vegetação, leva a erros grosseiros, pois os números digitais não estão na mesma escala radiométrica das diferentes bandas (PONZONI et al., 2012).

Isso significa que um determinado valor de número digital, em uma imagem e banda específica, não corresponde à mesma intensidade de radiação medida ou representada pelo mesmo valor digital em uma imagem de outra banda espectral. Outro fator que altera os valores de índice é a correção atmosférica. Isso ocorre devido ao espalhamento atmosférico que adiciona quantidade de radiação diferente à resposta espectral da vegetação nas bandas do vermelho e do infravermelho próximo. Nesse sentido, não se recomenda executar o cálculo de índice de vegetação sem, antes, converter os dados das imagens em valores físicos como radiância ou reflectância de superfície (POLZONI et al., 2012).

Nas últimas décadas, mais de quarenta índices de vegetação foram criados. Os primeiros índices de vegetação foram desenvolvidos utilizando os números digitais brutos, sem que fosse feita a transformação em refletância, correções atmosféricas e calibração dos sensores (ABDOU; HUETE, 1996). Os pioneiros nesse estudo foram Pearson; Miller (1972) Estes autores desenvolveram dois Índices (Equações 2 e 3), a saber: *Ratio Vegetation Index* (RVI) e o *Vegetation Index Number* (VIN) para estimatimar e monitorar a cobertura vegetal.

$$RVI=R/NIR \quad (2)$$

$$VIN=NIR/R \quad (3)$$

Onde:

R= Refletância na banda do vermelho;

NIR= Refletância na banda do infravermelho próximo.

Rouse et al. (1974) propuseram o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), que é dado pela razão entre a diferença ente a banda do infravermelho próximo e a banda do vermelho e a soma dessas mesmas bandas (Equação 4).

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED) \quad (4)$$

Onde:

NIR = Refletância na banda do Infravermelho próximo;

RED = Refletância na banda do vermelho

Os valores obtidos por esse índice variam de -1 a +1. Trata-se de um índice bastante utilizado até os dias atuais. Porém, a interpretação deve considerar vários fatores que limitam a sua utilização. Esses fatores incluem pontos de saturação que se manifestam de forma diferente nas faixas espectrais do vermelho e do infravermelho próximo; a interferência atmosférica; o posicionamento do centro e a largura da banda que variam conforme os sensores. Também deve ser considerada a resolução espacial, pois os resultados para uma mesma cena e data de aquisição podem variar drasticamente em função dessa variável, que afeta a pureza espectral ou a composição do Pixel (PONZONI et al., 2012).

Os índices de vegetação podem ser divididos em índices sensíveis à concentração de pigmento e índices espectrais. Essa divisão é proveniente da confusão que pode surgir, pois a refletância do dossel na faixa do NIR é fortemente dependente das propriedades estruturais

(IAF), ao passo que no visível é sensível às propriedades bioquímicas (clorofila). Esses índices podem ou não ser imunes a influências das propriedades óticas do solo (HABOUDANE et al., 2004; BRANDÃO, 2009; SHIRATSUCHI et al., 2014).

2.6.1 Índices de vegetação sensíveis a planta-água

Esse grupo de índices de vegetação denominados de “*Plant-water sensitive vegetation indices*” trabalham com a região espectral do infravermelho de ondas médias e curtas. Nessa faixa espectral, a reflectância da vegetação é menor do que a do solo, colaborando para sua identificação. (KIMES et al., 1981; DUSEK et al., 1985; BARET et al., 1988; THENKABAIL et al., 1994).

O comportamento espectral da vegetação, na faixa espectral que corresponde à região do infravermelho próximo, médio e de ondas curtas, do espectro eletromagnético, em sua maioria, é determinado pela quantidade de água, sendo denominados o grupo de índices de vegetação sensíveis a planta-água (JAFARI, 2007).

Thenkabail et al. (1994) propuseram 6 diferentes índices de vegetação sensível planta-água usando bandas espectrais do satélite Landsat TM correspondente às bandas do infravermelho médio e infravermelho de ondas curtas, tais como o índice de vegetação infravermelho médio (MSVI 1, 2 e 3) e de estresse relacionado ao índice de vegetação (STVI-1, 2 e 3).

Thenkabail et al. (1994) descobriram que os índices de vegetação sensível a água-planta eram tão bons ou melhores preditores de rendimentos de índice de área folia, biomassa úmida, biomassa seca e alturas de plantas do que índices de vegetação baseados em declives em campos de milho e soja.

O’ Neill (1996) utilizou estes índices a um tipo de vegetação (“*chenopod shrublands*”) semiárida no oeste da Austrália e sugeriu que o STVI-1 pode ser um índice útil para mapeamento e análise de vegetação neste tipo de ambiente, pois a maior parte dos índices de vegetação que usa a região do vermelho e infravermelho próximo do espectro eletromagnético parece ser inadequada para zonas áridas e semi-áridas.

O índice de vegetação relacionado ao estresse (STVI-4), é uma variante dos índices pertencentes ao grupo sensível a planta-água. Este índice foi criado para responder de forma positiva ao aumento da vegetação, considerando que os demais STVI existentes diminuem com o aumento da vegetação (JAVARI, 2007).

A operação $(\text{NIR} - (\text{RED} \times \text{MIR}))$, ao invés de $(\text{NIR} - \text{RED})$, utilizada na fórmula do NDVI, é usada para destacar a cobertura vegetal. Normalizando essa primeira operação por $(\text{NIR} + \text{MIR})$ no lugar de $(\text{NIR} + \text{RED})$, na fórmula do NDVI, os efeitos do solo são reduzidos significativamente, destacando a vegetação mais esparsa do ambiente. Esta normalização retém a capacidade do índice de minimizar os efeitos atmosféricos e topográficos (JAVARI, 2007).

REFERÊNCIAS

- ACCIOLY, L. J. O.; COSTA, T. C. E C.; OLIVEIRA, M. A. J.; SILVA, E. A. S.; SILVA, J. A. S.; SILVA, A. B.; SOUZA, A. R. Biomassa nas florestas de Caatinga nas microrregiões do Seridó Oriental (RN) e Seridó Ocidental (PB). In: Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, 17., 2008, Rio de Janeiro **Anais...** Rio de Janeiro: Embrapa solos.
- ALVES, J. J. A; ARAÚJO, M. A.; NASCIMENTO, S. S. Degradação da Caatinga: Uma investigação ecogeográfica. **Revista caatinga**, v. 22, n. 3, p. 126-135, 2009.
- AMORIM, I. L.; SAMPAIO, E. V. S. B.; ARAUJO, E. L. Flora e estrutura da vegetação arbustivo-arbórea de uma área de caatinga do Seridó, RN, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, São Paulo, v. 19, n. 3, p. 615-623, 2005.
- BRAUN-BLANQUET, J.B. **Fitossociologia: bases para el estudio de las comunidades vegetales**. Madrid: H. Blume Ediciones, 1979. 820 p.
- BANCO DO NORDESTE (BNB). Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste (ETENE). **Informe Setorial: Cerâmica Vermelha**. [S.I.]: BNB, ETENE, 2010. 22 p.
- BRAUN-BLANQUET, J.B. **Fitossociologia: bases para el estudio de las comunidades vegetales**. Madrid: H. Blume Ediciones, 1979. 820 p.
- BARET, F.; GUYOT, G.; BEGUE, A.; MAUREL, P.; PODAIRE, A. Complementarity of middle-infrared with visible and near-infrared reflectance for monitoring wheat canopies. **Remote Sensing of Environment**, v. 26, n. 3, p. 213-225, 1988.
- BARRETO, T.; SILVA, J. A. A.; FERREIRA, R. L. C.; ALMEIDA, C. C. S. Ajustamento de modelos matemáticos à biomassa seca dos compartimentos de plantas lenhosas em área de Caatinga. **Scientia Forestalis**, v. 46, n.118, p. 285-295, Piracicaba, 2018.
- BATISTA, J. L. F.; COUTO, H. T. Z.; FILHO, D. F. S.; **Quantificação de biomassa de recursos florestais: árvores, arvoredos e florestas**, 1. ed. Oficina de Textos, São Paulo, 2012.
- BEZERRA, J. M.; MOURA, G. B. A.; SILVA, B. B.; LOPES, P. M. O.; SILVA, E. F. F. Parâmetros biofísicos obtidos por sensoriamento remoto em região semiárida do estado do Rio Grande do Norte. **Revista Brasileira de Engenharia Ambiental**, v.18, n.1, p. 73-84, 2014.
- BOLFE, E. L.; FERREIRA, M. C.; BATISTELLA, M. Avaliação da correlação entre índices de vegetação e biomassa epígea de sistemas agroflorestais. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. **Anais...** São José dos Campos. p. 2603-2610, 2009.
- BOLFE, E.L.; BATISTELLA, M.; FERREIRA, M.C. Correlação de variáveis espectrais e estoque de carbono da biomassa aérea de sistemas agroflorestais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, p. 1261-1269, 2012.

BRANDÃO, Z. N. **Estimativa da produtividade e estado nutricional da cultura do algodão irrigado via técnicas de sensoriamento remoto**. 2009. 152 f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) -Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2009.

CARVALHO, F. A.; NASCIMENTO, M. T. Estrutura diamétrica da comunidade e das principais populações arbóreas de um remanescente de Floresta Atlântica Submontana (Silva Jardim-RJ, Brasil). **Revista Árvore**, v. 33, n. 2, p. 327-337, 2009.

CASTELLETTI, C. H. M.; SANTOS, A. M. M.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. Quanto ainda resta da Caatinga? Uma estimativa preliminar. In: LEAL, I. R.; TABARELLI, M: **Ecologia e Conservação da caatinga**. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2003. v.1, cap. 18, p.719-735.

CHEN, P.; HABOUDANE, D.; TREMBLAY, N.; WANG, J.; VIGNEAULT, P.; LI, B. New spectral indicator assessing the efficiency of crop nitrogen treatment in corn and wheat. **Remote Sensing of Environment**, v.114, n. 9, p. 1987-1997, 2010.

COSTA FILHO, J. F. DA; FRANCISCO, P. R. M.; ANDRADE, M. V. DE; SILVA L. DA; DANTAS, R. L. Estimativa do índice de vegetação da diferença normalizada (IVDN) na microrregião de Sousa-PB utilizando imagens do CBERS-2. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia,17., 2007, Aracaju. **Anais...** Aracaju: SBAGRO, 2007.

COSTA, T.; ACCIOLY, L.; OLIVEIRA, M.; BURGOS, N.; SILVA, F. Mapeamento da Fitomassa da Caatinga do Núcleo de Desertificação do Seridó, pelo Índice de Área de Planta (IAP) e o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), obtido com dados do Sensor Landsat 7 TM. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 10, 2001, Foz do Iguaçu, **Anais...** Foz do Iguaçu: SBSR, p. 1563-1573

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Diagnóstico do município de Floresta**. Estado de Pernambuco. Pernambuco: Serviço Geológico do Brasil, 2005. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/rehi/atlas/pernambuco/relatorio/FLOR061.pdf>>

DRUMOND, M A.; PIRES, I. E.; OLIVEIRA, V. R.; OLIVEIRA, A. R.; ALVAREZ, I.A. Produção e distribuição de biomassa de espécies arbóreas no semiárido brasileiro. **Revista Árvore**, v.32, n.4, p. 665-669, 2008

DUSEK, D. A.; JACKSON, R. D.; MUSICK, J. T. Winter wheat vegetation indices calculated from combinations of seven spectral bands. **Remote Sensing of Environment**, v. 18, n. 3, p. 255-267, 1985.

FLOREZANO, T. G. **Iniciação em sensoriamento remoto**. 2. ed. Oficina de Textos, São Paulo, 2007.

FELFILI, J.M.; VENTUROLI, F. **Tópicos em análise de vegetação**. 1. ed. Brasília: Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília; 2000. Comunicações Técnicas Florestais.

FREITAS, A. D. S.; SAMPAIO, E. V. S. B. Fixação biológica do N em leguminosas arbóreas da Paraíba e de Pernambuco. In: MENEZES, R. S. C.; SAMPAIO, E. V. S. B.; SALCEDO, I.

H. **Fertilidade do solo e produção de biomassa no semi-árido**. Recife: Ed. Universitária UFPE, 2008. p. 27-46.

GROMBONE, M.T., BERNACCI, L.C., Meira Neto, J.E.A. TAMASHIRO, J.Y., Leitão Filho, H.F. Fitossociological structure of a semideciduous altitudinal forest of Parque Municipal da Grota Funda (Atibaia - São Paulo State). **Acta Bot. Bras**, v. 4, n. 2, p. 47–63, 1990.

GÜNLÜ, A. I.; ERCANLI, E. Z.; BASENT, G. C. Estimating aboveground biomass using Landsat TM imagery: A case study of antolian Crimean pine forest in turkey. **Annals of Forest Research**, v. 57, n. 2, 2014

IBGE-INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, Malhas Digitais, 2015. Disponível em: < <http://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/basescartograficas/malhas-digitais.html>> Acesso em: 05/06/2018.

JAFARI, R. **Arid Land Condition Assessment and Monitoring Using Multispectral and Hyperspectral Imagery**, 2007. 141 p. (Doutorado em filosofia) – The university of Adelaide, Australia, 2007.

KIMES, D. S.; MARKHAM, B. L.; TURKER, C. J.; MCMURTREY, I. J. E. Temporal relationships between spectral response and agronomic variables of a com canopy. **Remote Sensing of Environment**, v. 11. p. 401-411, 1981.

LIMA JÚNIOR, C.; ACCIOLY, L. J. O.; GIONGO, V. AGUIAR LIMA, R. L. F.; SAMPAIO, E. V. S. B.; MENEZES, R. S. C. estimativa de biomassa lenhosa da Caatinga com uso de equações alométricas e Índice de vegetação. **Scientia Florestalis**, v. 42, n. 102, p.289-298, 2014.

MACIEL, M. N. M.; BASTOS, P. C. O.; CARVALHO, J. O. P.; WATRIN, O. S. Uso de imagens orbitais na estimativa de parâmetros estruturais de uma floresta primária no município de Paragominas, estado do Pará. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, PA, n. 52, p. 159-178, 2009.

MAGURRAN, A. E. **Ecological diversity and its measurement**. New Jersey: Princeton University Press, 1988. 197 p.

MENESES, P. R.; ALMEIDA T. **Introdução ao processamento de imagens de Sensoriamento Remoto**. Universidade de Brasília – UNB. Brasília. 2012.

MOREIRA M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 4. ed. Atual e ampliada, Viçosa, 2011.

NAKI, N. A. M.; LATIF, Z. A.; SURATMAN, N. Allometric Equations for Estimating the Above-Ground Biomass and Carbon Stock in Tropical Lowland Dipterocarp: Case study of Royal Belum Reserve. **Conference Paper**, 2014

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto Princípios e Aplicações**. 2. ed. Blucher, São Paulo, 1992.

O'NEILL, A. L. Satellite-derived vegetation indices applied to semi-arid shrublands in Australia. **Australian Geographer**, v. 27, n. 2, p. 185-199, 1996.

PANZONI, F. J.; **Sensoriamento Remoto da vegetação**. 2. ed. Atualizada e aplicada, Oficina de Textos, São Paulo, 2012.

PÁSCOA, F.; MARTINS, F.; GONZÁLES, R. S.; JOAO, C. Estabelecimento simultâneo de equações de biomassa para o pinheiro bravo. In: SIMPÓSIO IBEROAMERICANO DE GESTIÓN Y ECONOMÍA FORESTAL, 2., Barcelona. 2004.

RIEGELHAUPT, E. M.; PAREYN, F. G. C.; GARIGLIO, M. A. O manejo florestal como ferramenta para o uso sustentável e conservação da Caatinga. In: GARIGLIO, M. A. et al. (Orgs.). **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da Caatinga**. Brasília: Serviço Florestal Brasileiro, 2010. 368 p. p. 349-367.

ROUSE, J. W.; HASS, R. H.; SCHEKK, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, Greenbelt: NASA, 1974, v. 1, p. 309-317.

RODRIGUES, R.R., GANDOLFI, S. (1998). Conceitos, tendências e ações para a recuperação de florestas ciliares. In: Rodrigues, R.R.; Leitão Filho, H.F. **Matas ciliares: conservação e recuperação**. EDUSP, São Paulo. p.235-247.

SHIRATSHUCHI, L. S.; BRANDÃO, Z. N.; VICENTE, L. E.; VICTORIA, D. C.; DUCATI, J. R.; OLIVEIRA, R. P.; VILELA, M. F. Sensoriamento remoto: conceitos básicos e aplicações na agricultura de precisão. In: BERNADI, A. C. C.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOUI, L. H.; INAMASU, R. Y. **Agricultura de Precisão: Resultados de um novo olhar**. Ed. 1, 2014, cap. 4, p.58-72

SILVA, J. A. A. Conceitos e princípios básicos de modelagem matemática em ciências florestais, M. In: Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica. **Anais...** Recife. V. 11/12 p195-215, 2014/2015.

SILVA, G. C.; SAMPAIO, F. V. S. B. Biomassas de partes aéreas em plantas da caatinga. **Revista Árvore**, v. 32, n. 3, 2008.

SILVEIRA P.; KOEHLER H. S.; SANQUETTA C. R.; ARCE J.E. O Estado da arte na estimativa de biomassa e carbono e formações florestais. **Floresta**, Curitiba-PR, v. 38, n. 1, p. 185-206, 2008.

SOMOGYI, Z.; CIENCIALA, E.; MÄKIPÄÄ, R.; MUUKKONEN, P.; LEHTONEN, A.; WEISS, P. **European Journal of Forest Research**, v. 126, p. 197, n. 2, 2007.

THENKABAIL, P. S.; WARD, a. d.; LYON, J. G. MAERRY, C. J. Thematic Mapper vegetation indices for determining Soybean and Corn growth parameters. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 60, n. 4, p. 437-442, 1994.

WATZLAWICK, L. F.; KIRCHNER, F. F.; SANQUETTA, C. R. Estimativa de biomassa e carbono em plantios de *Pinus Taed* L. Utilizando imagens do satélite Ikonos II. **Ciência e Natura**, v. 28, n. 1, p. 43-60, 2006.

WEIER, J.; HERRING, D. **Measuring Vegetation (NDVI e EVI)**, 2000.

CARVALHO, F. A.; NASCIMENTO, M. T. Estrutura diamétrica da comunidade e das principais populações arbóreas de um remanescente de Floresta Atlântica Submontana (Silva Jardim-RJ, Brasil). **Revista Árvore**, v. 33, n. 2, p. 327-337, 2009.

MAGURRAN, A. E. **Ecological diversity and its measurement**. New Jersey: Princeton University Press, 1988. 197 p.

CAPÍTULO I:
COMPOSIÇÃO FLORÍSTICA E FITOSSOCIOLÓGICA DE UM FRAGMENTO DE
CAATINGA, EM SÃO JOSÉ DE ESPINHARAS, PARAÍBA, BRASIL

COMPOSIÇÃO FLORÍSTICA E FITOSSOCIOLÓGICA DE UM FRAGMENTO DE CAATINGA, EM SÃO JOSÉ DE ESPINHARAS, PARAÍBA, BRASIL

RESUMO – A avaliação florística e a fitossociologia das formações florestais contribuem de forma significativa para o conhecimento da riqueza, biodiversidade, distribuição e importância das áreas avaliadas. O trabalho foi conduzido em um fragmento de vegetação caatinga no município de São José de Espinharas, PB. O objetivo foi caracterizar a composição florística e fitossociológica da vegetação. Foram instaladas sistematicamente 20 parcelas de 20 m x 20 m, totalizando uma área amostrada de 0,8 ha, onde foram mensurados todos os indivíduos arbóreo-arbustivos com CAP \geq 6 cm. Foram amostrados 1145 indivíduos, sendo as famílias mais representativas Fabaceae (78,79%) e Euphorbiaceae (18,82%). Os valores encontrados para os índices de diversidade apresentaram valores consideráveis para o índice de Shannon (2,19), Pielou (0,72) e coeficiente de mistura de Jentsch (1/54,5), sendo semelhantes a diversas áreas de Caatinga. As espécies seguem um padrão agregado de distribuição e apresentam um valor de área basal relativamente baixo, influenciado por fatores edafoclimático e antrópicos. A distribuição diamétrica segue um padrão de J-invertido, e as alturas estão concentradas no estrato médio. As espécies *Poincianella pyramidalis*, *Mimosa tenuiflora*, *Aspidosperma pyriforme*, *Croton blanchetianus* e *Combretum leprosum* se destacaram com os maiores valores de valor de importância (VI %).

Palavras-chave: Semiárido, Valor de importância, Diversidade.

FLORISTIC AND PHYTOSOCIOLOGICAL COMPOSITION OF A CAATINGA FRAGMENT, IN SÃO JOSÉ DE ESPINHARAS, PARAÍBA, BRAZIL

ABSTRACT - The floristic assessment and phytosociology of forest formations contribute significantly to the knowledge of the richness, biodiversity, distribution and importance of the evaluated areas. The work was carried out in a fragment of caatinga vegetation in the municipality of São José de Espinharas, PB. The objective was to characterize its floristic and phytosociological composition. 20 plots of fixed area, measuring 20m x 20m, were systematically installed, totaling a sampled area of 0.8 ha, where all tree-shrub individuals with $CAP \geq 6$ cm were measured. 1145 individuals were sampled, the most representative families being Fabaceae (78.79%) and Euphorbiaceae (18.82%). The values found for the diversity indexes showed considerable values for the Shannon index (2.19), Pielou (0.72) and Jentsch mixture coefficient (1 / 54.5) being similar to several areas of Caatinga. The species follow an aggregated pattern of distribution and have a relatively low basal area value, influenced by edaphoclimatic and anthropic factors. The diametric distribution follows a pattern of inverted J and the heights are concentrated in the middle stratum. The species *Poincianella pyramidalis*, *Mimosa tenuiflora*, *Aspidosperma pyrifolium*, *Croton blanchetianus* and *Combretum leprosum* stood out with the highest values of importance value (VI%).

Keywords: Semiarid, Importance value Diversity.

1 INTRODUÇÃO

A região nordeste do Brasil possui uma área de aproximadamente 1.554.257 km², é bastante heterogênea em relação a fatores climáticos e edáficos, com uma ampla variedade de fisionomias de vegetação, onde a caatinga é a mais abrangente, cobrindo aproximadamente 544.453 km², e equivale a 9,92% do território brasileiro (IBGE, 2010; MMA, 2010).

Durante muito tempo, a vegetação Caatinga vinha sendo descrita como pobre em biodiversidade, frágil e com pouca ou ausência de espécies endêmicas. No entanto, os estudos atuais mostram uma grande riqueza e endemismo de espécies. Neste cenário, a sua diversidade desempenha um importante papel ecológico, econômico e social regional (ALMEIDA NETO et al., 2009).

Na vegetação da caatinga, predominam árvores e arbustos de pequeno porte ramificados, espinhosos e com folhagens decíduos na estação da seca. Apresenta também formas de vida peculiares tais como cactos colunares e globulosos, e bromélias terrestres (QUEIROZ et al., 2005). Segundo Andrade-Lima (1981), são reconhecidas 12 tipologias para a caatinga, porém apenas 41% da área da caatinga foram amostradas, sendo a maior parte considerada subamostrada. Diante disso, o conhecimento e conservação são prioridades, sobretudo nas áreas menos estudadas (TABARELLI et al., 2000; ALBUQUERQUE; ANDRADE, 2001; LEAL et al., 2003).

A caatinga vem sendo alterada há muitos séculos por ações antrópicas, que substituem a cobertura vegetal pela pecuária intensiva, agricultura nas partes mais úmidas, extração de lenha e madeira para diversos fins. Como consequência dessa exploração em um ambiente complexo, poderá ocorrer um processo irreversível de degradação (TABARELLI, 1999; SANTANA; SOUTO, 2006).

Para a execução de projetos de conservação da biodiversidade e planos de manejo sustentável na caatinga, faz-se necessário que se conheça a vegetação da área de interesse, suas limitações e capacidade de sobreviver nas condições adversas (FERRAZ et al., 2013)

Estudos sobre a composição e a estrutura dos remanescentes florestais fornecem informações básicas que auxiliam na tomada de decisão referentes a técnicas de manejo florestal de conservação. Devido à grande variabilidade da vegetação caatinga, os conhecimentos gerados até então ainda são insignificantes e esparsos, dificultando o estabelecimento de políticas de conservação efetivas para manutenção de sua diversidade (SATANA et al., 2016).

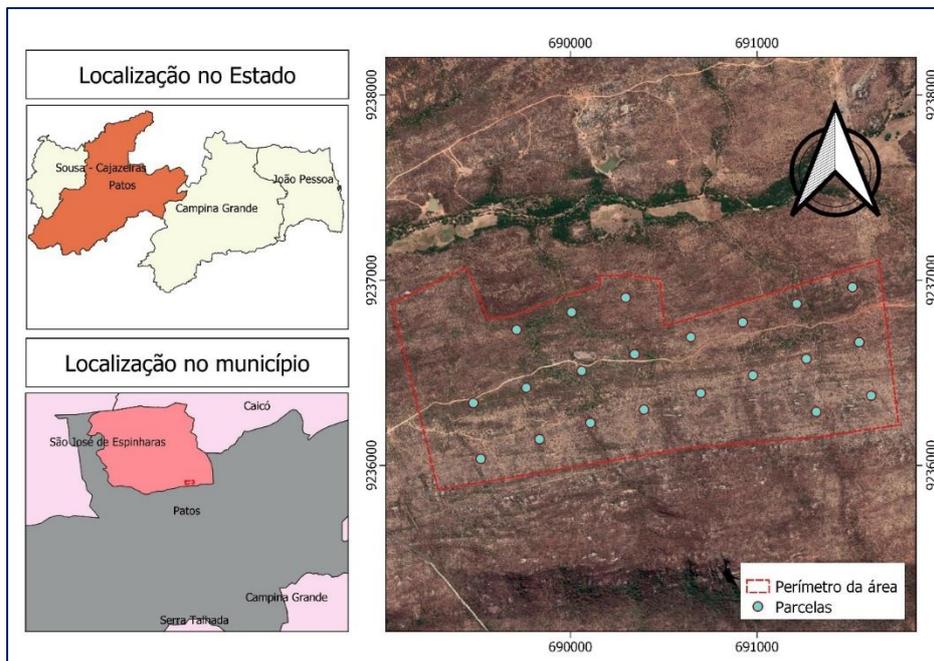
Diante disso, o estudo foi realizado, para caracterizar a composição florística e fitossociológica da vegetação arbustiva-árborea de um fragmento de caatinga, localizado no município de São José de Espinharas, Paraíba.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área de estudo

O estudo foi conduzido em uma área florestal localizada no município de São José de Espinharas, Paraíba, inserida na região intermediária e imediata de Patos (IBGE, 2017). O inventário florestal foi realizado em uma área de aproximadamente 227 hectares, inseridas na coordenadas UTM, zona 24s, datum sirgas 2000, delimitadas em 689033, 691766 Leste e 9236887, 9236209 Norte (Figura 1).

Figura 1– Mapa de localização da área



O município de São José de Espinharas está situado na região denominada como polígono das Secas. O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo BSh, caracterizado por ser um clima semiárido, quente e seco, com precipitação média abaixo de 800 mm (ALVARES et al., 2013)

Os solos predominantes para o município são os Luvisolos, sendo caracterizados como solos rasos e com pouca profundidade, ricos em bases e com argila de alta atividade, mas de uso limitado. Apresentam alta suscetibilidade à erosão, pedregosidade superficial e baixa profundidade efetiva, topografia com predominância de relevo ondulado a suave ondulado, com

exceção de áreas situadas na porção sudeste, cujo relevo é ondulado a fortemente ondulado (EMBRAPA, 2014).

A vegetação é classificada como savana-estépica, que abrange a caatinga do sertão nordestino. O município de São José de Espinharas está inserido na ecorregião da Depressão Sertaneja Sententrional, coberta pela vegetação arbustiva a arbórea, sobre solos cristalinos (IBGE, 2012; VELLOSO et al., 2002).

2.2 Inventário florestal

No inventário florestal foram implantadas 20 parcelas de área fixa medindo 20 m x 20 totalizando uma área amostrada de 0,8 hectares, distribuídas de maneira sistemática, caracterizando um processo de amostragem sistemático (PÉLLICO NETTO; BRENA, 1997). As parcelas foram instaladas seguindo um espaçamento de 300 x 300 m entre si e 100 m da bordadura, localizadas no campo com auxílio de um receptor GNSS.

Nas unidades amostrais foram mensurados todos os indivíduos vivos ou mortos ainda em pé, adotando um nível de inclusão de 6 cm para circunferência a altura do peito (CAP), conforme orientação do Protocolo de medições de parcelas permanente da Rede de Manejo Florestal da Caatinga (RMFC, 2005).

Os indivíduos que atenderam ao nível de inclusão foram identificados e etiquetados com um número e anotados os seguintes dados: identificação da espécie; circunferência à altura do peito (CAP) através de fita métrica e altura total média com uma vara telescópica.

2.3 Análise florística e fitossociológica

A ferramenta usada para calcular os parâmetros fitossociológicos foi o software Mata Nativa© 2, licenciado para o departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Campina Grande, *Campus* de Patos, Paraíba.

2.3.1 Agregação das espécies

O padrão de distribuição das espécies foi avaliado mediante o emprego de índices de agregação. Na análise, foram utilizados os índices de agregação de MacGhuanes, Fracker e Brischle e Payandeh, cujas descrição e fórmulas (Equação 1, 2 e 3) são apresentadas a seguir.

Índice de MacGhuanes

O índice de MacGhuanes (IGA) estima o grau de agregação da espécie (Equação 1), em densidade observada (D_i) e esperada (d_i):

$$IGA = \frac{D_i}{d_i}; D_i = \frac{n_i}{U_r}; d_i = -\ln\left(1 - \frac{U_i}{U_r}\right) \text{ ou } IGA = \frac{n_i}{U_r \left[\ln\left(1 - \frac{U_i}{U_r}\right) \right]} \quad (1)$$

Em que: D_i = densidade observada da i -ésima espécie; d_i = densidade esperada da i -ésima espécie; n_i = número de indivíduos amostrados da i -ésima espécie; U_r = número de unidade de amostras em que a i -ésima espécie ocorre; \ln = logaritmo neperiano; U_i = número de unidades de amostra em que a i -ésima espécie ocorre; U_r = Número total de unidades de amostras

Para $IGA < 1$, interpreta-se como distribuição uniforme se $1 < IGA \leq 2$ e isso indica tendência ao agrupamento; e $IGA > 2$ evidencia padrão de distribuição agregado ou agrupado.

Índice de Fracker e Brischle

O índice de Fracker e Brischle (K_i) é obtido pela expressão (FRACKER; BRISCHLE, 1994; CARVALHO, 1982):

$$K_i = \frac{|D_i - d_i|}{d_i^2} \quad (2)$$

Em que: D_i = densidade observada da i -ésima espécie; d_i = densidade esperada da i -ésima espécie.

Se $K_i \leq 0,15$, o padrão de distribuição espacial da espécie é aleatório; se $0,15 > K_i \leq 1,0$, indica tendência ao agrupamento; e se $K_i > 1,0$, o padrão é agregado.

Índice de Payandeh

O índice de Payandeh (P_i) determina o grau de agregação da espécie por meio da relação entre variância do número de árvores por parcela e a média do número de árvores (PAYANDEH, 1970).

$$P_i = \frac{\sum_{i=1}^{U_r} (n_{ij} - M_i)^2}{U_r - 1} \quad (3)$$

Em que: U_r = Total de parcelas amostradas; n_{ij} = número de árvores amostradas da i -ésima espécie na j -ésima parcela; M_i = Média do número de árvores da i -ésima espécie.

Se $P_i \leq 1$ indica padrão aleatório; $1 < P_i \leq 1,5$ indica tendência ao agrupamento; e $P_i > 1,5$ indica agrupamento.

2.3.2 Diversidade

O índice de diversidade envolve dois conceitos importantes: riqueza e uniformidade, que podem ser obtidos por meio de uma escala hierárquica. A riqueza refere-se ao número de espécies na flora (para dados florestais) de uma dada área. A uniformidade está relacionada ao grau da dominância de cada espécie na em uma área. Os índices de diversidade utilizados estão descritos a seguir.

Índice de diversidade de Shannon

O índice de diversidade de Shannon (H') é também denominado de Shannon-Weaver, (BROWER; ZAR, 1984; PERKINS, 1982)

$$H' = \frac{N \cdot \ln(N) - \sum_{i=1}^n n_i \cdot \ln(n_i)}{N} \quad (4)$$

Em que: N= número total de indivíduos amostrados; n_i = número de indivíduos amostrados da i-ésima espécie; ln = logaritmo neperiano.

Quanto maior o valor de H' , maior será a diversidade florística de uma comunidade em estudo (PERKINS, 1982; BROWER; ZAR, 1984).

Índice de equabilidade de Pielou

$$J = \frac{H'}{H'_{max}} \quad (5)$$

Em que: $H'_{max} = \ln(S)$; S= número total de espécies amostradas; H' = índice de diversidade de Shannon-Weaver da comunidade

Quanto maior o valor de J, maior será a diversidade florística da comunidade em estudo.

Coefficiente de mistura de Jentsch

O coeficiente de mistura (QM) indica, em média, o número de indivíduos de cada espécie amostrada na comunidade (LAMPRECHT, 1964) e mede a intensidade de mistura das espécies e os possíveis problemas de manejo, dadas as condições de variabilidade de espécies (HOSOKAWA, 1981).

$$QM = \frac{S}{N} \quad (6)$$

Em que: S= Número total de espécies amostradas; N= número total de indivíduos amostrados.

2.3.3 Estrutura Horizontal

A análise da estrutura horizontal foi realizada calculando-se os seguintes parâmetros populacionais: densidade, dominância, frequência, valor de cobertura e valor de importância.

Densidade ou abundância

A densidade, também denominada de abundância, indica o número de indivíduos de cada espécie na composição do povoamento. A sua estimativa é apresentada em densidade absoluta (DA_i) e densidade relativa (DR_i), para a i -ésima espécie (CURTIS; MCINTOSH, 1950; CURTIS, 1951; LAMPRECTH, 1964; BROWER; ZAR, 1984). Calcula-se pela seguinte equação:

$$DA_i = \frac{n_i}{A} \quad (7)$$

$$DR_i = \frac{n_i}{N} \times 100 \quad (8)$$

Em que: DA_i = Densidade absoluta da i -ésima espécie; DR_i = Densidade relativa da i -ésima espécie (%); n_i = número de indivíduos amostrados da i -ésima espécie.

Dominância

A dominância é a estimativa da área basal da espécie e povoamento florestal, por hectare (CURTIS; MCINTOSH, 1950; LAMPRECTH, 1964; BROWER; ZAZR, 1984). Calcula-se em dominância absoluta e relativa pelas seguintes fórmulas:

$$DoA_i = \frac{G_i}{A} \quad (9)$$

$$DoT = \sum_{i=1}^S DoA_i \quad (10)$$

$$DoR_i = \frac{DoA_i}{DoT} \times 100 \quad (11)$$

Sendo:

$$g_j = \frac{\pi DAP_i^2}{40000} \quad (12)$$

$$G_i = \sum_{j=1}^{n_i} g_j \quad (13)$$

Em que: g_j = área seccional ou transversal do tronco ou fuste de j -ésima árvore em m^2 ; G_i = área basal da i -ésima espécie, em m^2 , na área amostrada (soma das áreas seccionais da espécie); A = área amostrada em hectare; S = número total de espécies amostradas; DoA_i = dominância absoluta da i -ésima espécie em m^2/ha ; DoT = dominância total em m^2/ha ; DoR_i = dominância relativa (%) da i -ésima espécie; n_i = número de indivíduos amostrados da i -ésima espécie.

Frequência

As frequências absolutas e relativas (CURTIS, 1951; BROWER; ZAR, 1984; LAMPRECHT, 1964) são calculadas pelas seguintes fórmulas:

$$FA_i = \frac{U_i}{U_r} \times 100; \quad (14)$$

$$FR_i = \frac{FA_i}{\sum_{i=1}^S FA_i} \times 100 \quad (15)$$

Em que: FA_i = frequência absoluta da i -ésima espécie; U_i = número de unidades amostrais nas quais foram encontradas a i -ésima espécie; U_r = número total de unidades amostrais; FR_i = frequência encontrada da i -ésima espécie.

Valor de importância

Expressa a importância ecológica da espécie na comunidade vegetal (CURTIS, 1951; BROWER; ZAR, 1984; CALEGÁRIO, 1993). É estimado por espécie, pela soma dos valores relativos da densidade, dominância e frequência, como segue a expressão:

$$VII = DR_i + DoR_i + FR_j \quad (16)$$

$$VII_i (\%) = \frac{DR_i + DoR_i + FR_i}{3} \quad (17)$$

Valor de cobertura

Estima a importância da espécie dentro do povoamento pelo número de árvores (densidade) e suas dimensões (dominância), calculados em valores absolutos e percentual pela seguinte equação:

$$VCI = DR_i + DoR_i; \quad (18)$$

$$VCI = \frac{DR_i + DoR_i}{2} \quad (19)$$

2.3.4 Estrutura vertical

Para estratificação vertical da vegetação empregou-se o método de estratificação recomendado por Souza (1998); Mariscal; Flores (1993), que usa a altura total (H) para distinguir os estratos inferior, médio e superior, pelas seguintes relações:

Estrato inferior – compreende os indivíduos com $H < (H_m - 1s)$;

Estrato médio – compreende os indivíduos com $(H_m - 1s) \leq H < (H_m + 1s)$;

Estrato superior – compreende os indivíduos com $H \geq (H_m + 1s)$.

Em que: H = Altura total, H_m = altura média, s = desvio padrão das alturas.

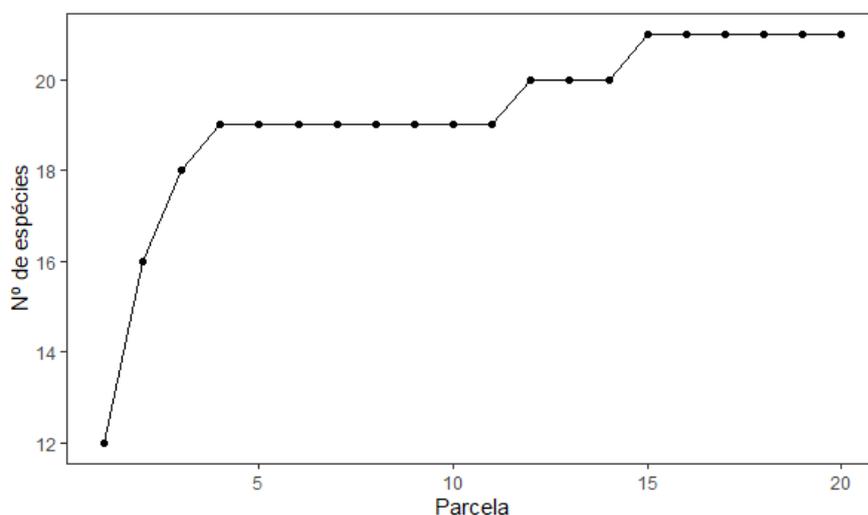
3 RESULTADO E DISCUSSÕES

Curva do coletor

A curva do coletor (Figura 2) indica que, a partir da 11^a parcela, o incremento de novas espécies diminuiu, momento em que 90 % das espécies amostradas haviam sido listadas, ao passo que, a partir da 15^a parcela ocorre a estabilização na reta com número de espécies acumuladas no gráfico, sinalizando que as amostras foram suficientes para representar a composição florística da área para o nível de inclusão estabelecido.

No que se refere ao número de espécies (21) no qual a curva de acumulação se estabiliza, resultados semelhantes foram encontrados por Guedes et al. (2012) em uma área de Caatinga próxima ao local de estudo.

Figura 2 – Curva de acumulação de espécies arbustivo–arbóreas em função da área



3.1 Composição florística

De acordo com o levantamento florístico realizado, foram contabilizados 1431 ind/ha, pertencentes a 21 espécies e 10 famílias botânicas (Tabela 1). As famílias mais representativas em número de espécies, com 78,79 % dos indivíduos, foram Fabaceae e Euphorbiaceae, com números percentuais de 54,97 % e 18,82 %, respectivamente.

Estas famílias se destacam como as mais representativas, na grande maioria dos estudos florísticos em áreas de Caatinga, abrangendo a maioria das espécies lenhosas da flora do bioma

(CALIXTO JUNIOR, et. al., 2011; GUEDES et al., 2012; SABINO et al., 2012; FERRAZ et. al., 2013; SOUZA et al., 2016; FABRICANTE; ANDRADE, 2007).

Tabela 1 – Lista de espécies encontradas na área de estudo

Família	Nome Científico	Nome Vulgar
ANACARDIACEAE	<i>Myracrodruon urundeuva</i> Allemão	AROEIRA
APOCYNACEAE	<i>Aspidosperma pyrifolium</i> Mart. & Zucc.	PEREIRO
BIGNONIACEAE	<i>Handroanthus impetiginosus</i> (Mart. ex DC.) Matto	IPÊ ROXO
BORAGINACEAE	<i>Auxemma oncocalyx</i> (Allemão) Taub.	PAU BRANCO
BURSERACEAE	<i>Commiphora leptophloeos</i> (Mart.) J. B. Gillet	AMBURANA DE CAMBÃO
CAPPARACEAE	<i>Cynophalla flexuosa</i> (L.) J. Presl	FEIJÃO BRAVO
COMBRETACEAE	<i>Combretum leprosum</i> Mart.	MUFUMBO
EUPHORBIACEAE	<i>Cnidocolus phyllacanthus</i> (Muell. Arg.) Pax et K. Hoffman	FAVELEIRA
EUPHORBIACEAE	<i>Croton blanchetianus</i> Bail.	MARMELEIRO
EUPHORBIACEAE	<i>Croton conduplicatus</i> Humb. Bonp & Kunth.	QUEBRA FACA
EUPHORBIACEAE	<i>Jatropha mollissima</i> (Pohl) Baill.	PINHÃO BRAVO
FABACEAE	<i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.)	ANGICO
FABACEAE	<i>Bauhinia cheilantha</i> (Bong.) Steud	MORORO
FABACEAE	<i>Libidibia ferrea</i> (Mart. ex Tul.) L. P. Queiroz	PAU FERRO
FABACEAE	<i>Mimosa tenuiflora</i> (Willd.) Poir.	JUREMA PRETA
FABACEAE	<i>Piptadenia stipulacea</i> (Benth.) Ducke	JUREMA BRANCA
FABACEAE	<i>Poincianella pyramidalis</i> (Tul.) L. P. Queiroz	CATINGUEIRA
MALVACEAE	<i>Pseudobombax marginatum</i> (A.St.-Hil., Juss. & Cambess.) A.Robyns	IMBIRATANHA
NI		
RHAMNACEAE	<i>Ziziphus joazeiro</i> Mart.	JUAZEIRO
SAPOTACEAE	<i>Sideroxylon obtusifolium</i> (Roem. & Schult.)	ROMPE GIBÃO

NI= Não identificada

Santana et al. (2016), na Estação Ecológica do Seridó, em Serra Negra do Norte, no Rio Grande do Norte, segundo o critério de inclusão medindo todos os indivíduos com hábito de vida arbóreo ou arbustivo, com diâmetro ao nível do solo ≥ 3 cm e altura total ≥ 1 m, listaram 22 espécies e 12 famílias. Almeida Neto et al. (2012) realizaram um levantamento florístico e fitossociológico no município paraibano de Barra de Santa Rosa, adotando os mesmos critérios de inclusão, identificaram 22 espécies e 12 famílias botânicas.

Quando comparado ao trabalho de Barboza et al. (2012), em um fragmento de Caatinga localizado no município de Arcoverde, Pernambuco, em que foram identificadas 36 espécies distribuídas entre 19 famílias botânicas, caracteriza-se o presente estudo com baixa diversidade.

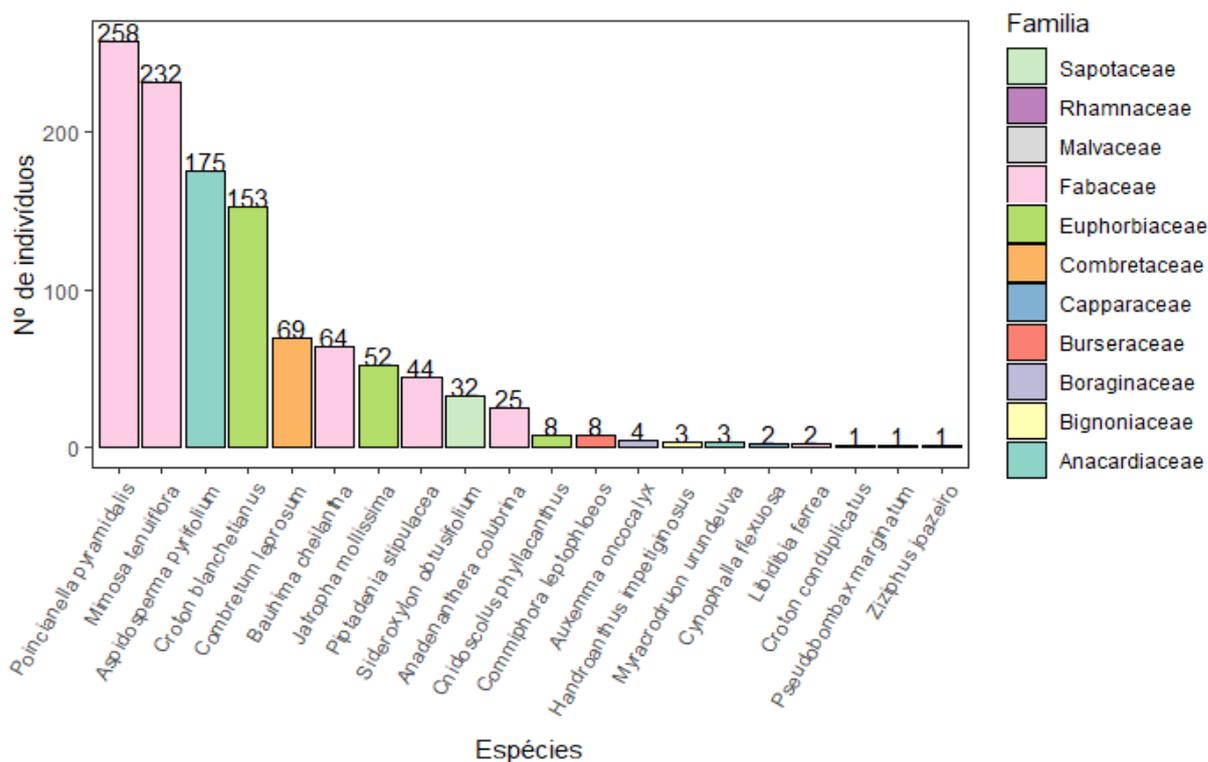
Leite et al. (2015) estudaram um remanescente florestal no município de Teixeira, Paraíba, contabilizaram 3069 indivíduos, pertencentes a 46 espécies e 24 famílias, sendo este um número bastante expressivo, quando comparado aos resultados deste estudo. Os autores relatam que o tipo de vegetação estudada se encontra em um estado mais avançado de regeneração.

Esse fato evidencia a grande variabilidade de levantamentos fitossociológicos em áreas de Caatinga, conforme relata Andrade-Lima (1992), o que pode estar relacionado com a média pluviométrica anual, haja visto que as Caatingas situadas em locais onde as precipitações são mais elevadas apresentam maior número de espécies.

Rodal (1992) acrescenta que a quantidade de espécie de uma área dá-se em resposta a um conjunto de fatores edafoclimáticos tais como situação topográfica, classe, profundidade e permeabilidade do solo, e não apenas a pluviosidade, embora este seja um dos fatores de maior importância.

Os táxons mais abundantes (Figura 3) foram: *Poincianella pyramidalis*, com 258 indivíduos, *Mimosa tenuiflora* com 232, *Aspidosperma pyriforme*, com 175, e *Croton blanchetianus* com 69, as quais correspondem a 68,8 % do total amostrado.

Figura – 3 Distribuição por espécies e número de indivíduos



Resultados semelhantes foram encontrados por Fabricante; Andrade (2007) que reportaram as espécies *Poincianella pyramidalis* e *Croton blanchetianus* como correspondentes a 56,7% das espécies e como as mais abundantes em uma área de Caatinga no Seridó Paraibano. Os autores relatam que estas espécies são bastante comuns em ambientes perturbados.

Os resultados de Sabino et al. (2016) também identificaram predominância das espécies *Poincianella pyramidalis*, *Mimosa tenuiflora*, *Aspidosperma pyriformis*, *Croton blanchetianus* e *Combretum leprosum* em um fragmento de Caatinga antropizada, no município de Patos, Paraíba.

3.2 Diversidade

Os índices gerais encontrados (Tabela 2) para a diversidade florística apresentaram os seguintes comportamentos: Shannon-Weaver = 2,19 nats/ind, Pielou= 0,72 e coeficiente de mistura de Jentsch = 1/54,5

Tabela 2 - Valores dos índices de diversidade de Shannon-Weaver (H'), equitabilidade de Pielou (J) e coeficiente de mistura de Jentsch (QM)

Índices	Valores
H'	2,19
J	0,72
QM	1/54,5

Segundo Santana (2006), a comparação de áreas distintas de caatinga através de índices de diversidade deve ser feita de modo cuidadoso, tendo em vista que os índices são fortemente influenciados por uma série de fatores bióticos e abióticos e suas interações, critérios de inclusão, bem como o nível e tempo de antropismo.

Os valores encontrados para o índice de Shannon-Weaver foram superiores aos encontrados por Andrade et al. (2005) em duas áreas de Caatinga no cariri Paraibano. Os valores encontrados por estes autores foram de 1,51 e 1,43 nats/ind. Os autores explicam que este fato é decorrente dos reflexos das condições climáticas desfavoráveis, baixa pluviosidade, limitações do solo e pressão antrópica, em virtude das atividades pecuárias desenvolvidas na área.

Outros trabalhos corroboram o valor encontrado para o índice de Shannon-Weaver neste estudo, apresentando semelhança em diferentes fragmentos de Caatinga no Nordeste brasileiro, com destaque para os estudos de Guedes et al. (2012); Pereira et al. (2013) e Marangon et al. (2013), cujos valores encontrados foram 2,54 nats./ind, 2,29 nats./ind e 2,11 nats./ind, respectivamente.

De acordo com Trovão (2004), os valores encontrados são considerados baixos quando comparados a outras formações vegetais, fato que pode ser atribuído às condições climáticas e pedológicas das regiões nas quais este tipo de vegetação está inserido, ao passo, que para a mesma formação vegetacional, os valores encontrados são consideráveis.

Silva (2009), estudando uma área de caatinga abandonada há cerca de 30 anos, no agreste pernambucano, encontrou valores semelhantes ao presente estudo, para os índices de Shannon-Weaver ($H' = 2,46$ nats./ind.), equitabilidade de Pielou ($J' = 0,88$) e coeficiente de mistura de Jentsch ($QM = 0,03$).

Santos et al. (2017) analisaram a composição florística e fitossociológica em um fragmento de Caatinga, localizado no município de Upanema- RN, e encontraram valores próximos aos deste trabalho para os índices $H' = 2,28$ nat./ind e $J' = 0,77$, sendo, portanto, as áreas semelhantes no que se refere a diversidade e uniformidade de abundância.

Araújo (2007), analisando uma área de Caatinga, localizada no município de Santa Terezinha – Paraíba, também encontrou valores semelhantes, sendo os valores para o Índice de diversidade de Shannon (2,37 nats./ind.) e Equabilidade de Pielou (0,71).

Para equitabilidade de Pielou, o valor encontrado se assemelha aos resultados obtidos por Ferraz et al. (2014), que obtiveram o valor de 0,73; Santos et al. (2017); e inferior aos trabalhos de Guedes et al. (2012) e Leitão et al. (2014), cujos valores obtidos para este índice foram de 0,82 e 0,89 respectivamente.

3.3 Padrão espacial de distribuição

Para analisar o nível de agregação dos táxons (Tabela 3), foram contabilizados os índices de MacGuinnes (IGA), Fracker e Brischle (k) e o índice de Payandeh (P).

Tabela 3 – Índices de agregação das espécies, em que N= número de indivíduos; IGA_i= índice de McGuines; K_i= índice de Fracker e Brischle; P_i= índice de Payandeh para a i-ésima espécie

Nome Científico	N	IGA _i	K _i	P _i
<i>Poincianella pyramidalis</i>	258	5,6	2	7,51
<i>Mimosa tenuiflora</i>	232	3,87	0,96	9,09
<i>Aspidosperma pyrifolium</i>	175	6,31	3,83	20,97
<i>Croton blanchetianus</i>	153	6,35	4,45	11,63
<i>Combretum leprosum</i>	69	4,98	5,74	9,9
<i>Jatropha mollissima</i>	52	3,26	2,83	5,44
<i>Piptadenia stipulacea</i>	44	2,4	1,53	3,38
<i>Bauhinia cheilantha</i>	64	5,35	7,28	19,1
<i>Cnidioscolus phyllacanthus</i>	8	1,12	0,34	1,16
<i>Sideroxylon obtusifolium</i>	32	3,71	6,3	10,55
<i>Anadenanthera colubrina</i>	25	4,35	11,63	7,74
<i>Commiphora leptophloeos</i>	8	1,12	0,34	1,16
NI	8	1,79	3,55	3,26
<i>Myracrodruon urundeuva</i>	3	0,92	-0,47	0,89
<i>Handroanthus impetiginosus</i>	3	1,42	4,02	1,6
<i>Cynophalla flexuosa</i>	2	0,95	-0,48	0,95
<i>Libidibia ferrea</i>	2	0,95	-0,48	0,95
<i>Auxemma oncocalyx</i>	4	3,9	56,52	4
<i>Pseudobombax marginatum</i>	1	0,97	-0,49	1
<i>Ziziphus joazeiro</i>	1	0,97	-0,49	1
<i>Croton conduplicatus</i>	1	0,97	-0,49	1

Para o índice IGA, o padrão de distribuição agregado foi identificado em 52,4% das espécies, seguido pelo padrão uniforme (28,6%) e tendência ao agrupamento (19%). O índice Fracker e Brischle mostra que mais da metade (57,1%) dos indivíduos também apresenta um padrão de distribuição agregado, seguido pela distribuição aleatório (28,6%) e tendência ao agrupamento (14,3%). O índice de Payandeh também demonstrou predominância do padrão de distribuição agrupada (58,9%), seguido por indivíduos não agrupados (28,6%) e tendência ao agrupamento (1%).

O padrão de distribuição agregado pode ser determinado em função do padrão de dispersão de sementes em curta distância, também existe uma tendência para determinadas espécies a formação do padrão agregado (MATTEUCI; COLMA, 1982).

O fato de as espécies apresentarem uma predominância de distribuição agregado, está relacionado com os fatores morfológicos, tais como os mecanismo de dispersão das espécies a distâncias curtas. Mecanismos como anemocoria e baricoria podem favorecer a formação de comunidades de indivíduos distribuídos em menores distâncias. Observam-se fatores

ambientais, tais como solos rasos e distúrbios naturais, bem como os fatores fitossociológicos, como competição inter e intraespecífica (MARANGON, et al., 2013, LUCENA, 2017).

Marangon (2011) encontrou predominância do padrão agregado estudando duas áreas de Caatinga no município de Floresta-PE. Santana (2009) afirma que é comum a distribuição agrupada ou com tendência ao agrupamento para espécies mais abundantes em áreas de Caatinga, o que demonstra a predisposição das espécies da Caatinga a esse padrão de distribuição.

3.4 Estrutura Horizontal

Os valores dos parâmetros fitossociológicos estudados foram: área basal, densidade, frequência, dominância, valor de cobertura e valor de importância (Tabela 4). Para o total de indivíduos amostrados, foi encontrado o valor de $6,0125 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$ para área basal, sendo, portanto, significativamente baixo quando comparado a outros trabalhos realizados em áreas de Caatinga, que pode estar relacionado a fatores edafoclimáticos e influência de atividades antrópicas na área.

De acordo com Calixto Júnior; Drumond, (2011), é uma característica da vegetação Caatinga devido à grande variedade fisionômica ou diferenças nas pressões antrópicas exercidas por diferentes tipos de uso. Segundo Sampaio (1996) os valores de área basal na Caatinga variam de 4 a $52 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$

O valor da área basal estimado para área foi superior ao encontrado por Dario (2017), $2,94 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$, e inferior à maioria dos trabalhos realizados em áreas de Caatinga, como mostram Guedes et al. (2012), estudando um fragmento de Caatinga no semiárido paraibano, que obtiveram o valor estimado de $9,21 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$. Santana; Souto (2006) $14,5 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$, Pereira Junior (2012) $28,77 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$, SILVA (2005) obtiveram os valores de $7,79$ e $9,93 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$ para duas áreas de Caatinga na Paraíba e no Rio Grande do Norte, e Dantas et al. (2010) uma área basal de $11,546 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$.

Em relação à análise do parâmetro fitossociológico da vegetação, ao nível de espécie, observa-se que *Poincianella pyramidalis*, *Mimosa tenuiflora*, *Aspidosperma pyrifolium* e *Croton blanchetianus* merecem destaque, correspondendo por 71,43% da densidade relativa, 44,3% da frequência relativa, 74,84% da dominância relativa e 63,53% do valor de importância da área (Tabela 4) da área, sendo, portanto, as mais importantes nesse fragmento estudado.

As espécies *Poincianella pyramidalis*, *Mimosa tenuiflora*, *Aspidosperma pyrifolium*, *Croton blanchetianus* e *Combretum leprosum* destacaram-se com os maiores valores de

importância (VI %), com 22,26 %, 20,76%, 11,63%, 8,88% e 5,45%, respectivamente. Estas espécies somadas representam 77,5% da densidade absoluta de indivíduos, equivalente a aproximadamente 1109 indivíduos.ha⁻¹.

Tabela 1– Estimativas dos parâmetros fitossociológicos calculados para os indivíduos com CAP > 6 cm, em ordem decrescente de espécies de maior valor de importância (VI), sendo AB (área Basal), DA (densidade absoluta), DR (densidade relativa), FA (Frequência relativa), DoA (dominância absoluta), DoR (dominância relativa), VC (Valor de cobertura) e VI (valor de importância)

Nome Científico	AB	DA	DR	FA	FR	DoA	DoR	VC (%)	VI (%)
<i>Poincianella pyramidalis</i>	1,5482	322,5	22,53	90	12,08	1,935	32,16	27,35	22,26
<i>Mimosa tenuiflora</i>	1,4083	290	20,26	95	12,75	1,76	29,26	24,76	20,76
<i>Aspidosperma pyriformium</i>	0,4595	218,75	15,28	75	10,07	0,574	9,55	12,42	11,63
<i>Croton blanchetianus</i>	0,1863	191,25	13,36	70	9,4	0,233	3,87	8,62	8,88
<i>Combretum leprosum</i>	0,1738	86,25	6,03	50	6,71	0,217	3,61	4,82	5,45
<i>Jatropha mollissima</i>	0,1805	65	4,54	55	7,38	0,226	3,75	4,15	5,22
<i>Piptadenia stipulacea</i>	0,1245	55	3,84	60	8,05	0,156	2,59	3,21	4,83
<i>Bauhinia cheilantha</i>	0,1184	80	5,59	45	6,04	0,148	2,46	4,02	4,7
<i>Cnidocolus phyllacanthus</i>	0,2341	10	0,7	30	4,03	0,293	4,86	2,78	3,2
<i>Sideroxylon obtusifolium</i>	0,0669	40	2,79	35	4,7	0,084	1,39	2,09	2,96
<i>Anadenanthera colubrina</i>	0,1058	31,25	2,18	25	3,36	0,132	2,2	2,19	2,58
<i>Commiphora leptophloeos</i>	0,1136	10	0,7	30	4,03	0,142	2,36	1,53	2,36
NI	0,0333	10	0,7	20	2,68	0,042	0,69	0,7	1,36
<i>Myracrodruon urundeuva</i>	0,0414	3,75	0,26	15	2,01	0,052	0,86	0,56	1,04
<i>Handroanthus impetiginosus</i>	0,0011	3,75	0,26	10	1,34	0,001	0,02	0,14	0,54
<i>Cynophalla flexuosa</i>	0,0037	2,5	0,17	10	1,34	0,005	0,08	0,13	0,53
<i>Libidibia ferrea</i>	0,0017	2,5	0,17	10	1,34	0,002	0,04	0,1	0,52
<i>Auxemma onocalyx</i>	0,0043	5	0,35	5	0,67	0,005	0,09	0,22	0,37
<i>Pseudobombax marginatum</i>	0,0067	1,25	0,09	5	0,67	0,008	0,14	0,11	0,3
<i>Ziziphus joazeiro</i>	0,0008	1,25	0,09	5	0,67	0,001	0,02	0,05	0,26
<i>Croton conduplicatus</i>	0,0003	1,25	0,09	5	0,67	0	0,01	0,05	0,26
Total	4,8134	1431,25	100	745	100	6,017	100	100	100

Santana et al. (2016) citaram três dessas espécies, *Poincianella pyramidalis*, *Aspidosperma pyriformium* e *Croton blanchetianus*, como as mais importantes em seu trabalho desenvolvido em uma área de Caatinga, na Estação Ecológica do Seridó, no município de Serra Negra do Norte, Rio Grande do Norte. Os valores de importância correspondentes foram de

18,09%, 17,07% e 18,68%, respectivamente, o que corresponde a um total de 53,84% do valor de importância da área.

Outros trabalhos também obtiveram resultados similares, comprovando a dominância ecológica dessas espécies em áreas de caatinga (SABINO et al., 2016; ANDRADE et al., 2005; SILVA 2005, SOUZA, 2005; GUEDES et al., 2012 e DANTAS et al., 2010.)

A espécie *Poincianella pyramidalis* apresentou o maior número de indivíduos, destacando-se com a maior densidade relativa (22,53%), sendo uma das mais frequentes na área (12,08), e maior dominância relativa 32,16%, respondendo por 27,35% do valor de cobertura e 22,26% do valor de importância da área, seguida pela espécie *Mimosa tenuiflora*, com densidade relativa de 20,26%, sendo a espécie mais frequente da área com, 12,75% e dominância relativa de 29,26%, com valor de cobertura de 24,76% e valor de importância de 20,76.

De acordo com Andrade Lima (1989), a espécie *Poincianella pyramidalis* apresenta mais alta dispersão no semiárido brasileiro. A rebrota dessa espécie é bastante intensa quando cortada, explicando parte da dominância desta espécie em certas comunidades de Caatinga.

A espécie *Mimosa tenuiflora* é pioneira, indicadora de sucessão secundária progressiva ou recuperação, cuja densidade tende a diminuir ao longo do processo de recuperação. É bastante comum, na fase inicial de sucessão, a formação de uma grande população nas matas em estágio inicial de sucessão ecológica (MAIA, 2004).

Merecem destaque também as espécies *Aspidosperma pyriforme* com densidade relativa de 15,28%, frequência de 10,07% e dominância relativa de 9,55%, valor de cobertura de 12,42% e valor de importância de 11,63, e *Croton blanchetianus*, correspondendo a 13,36% da densidade relativa, 6,71% da frequência relativa, 3,87% da dominância relativa, valor de cobertura de 8,62% e valor de importância igual a 8,88%.

A ocorrência da espécie *Croton blanchetianus* pode indicar que a vegetação se encontra em processo de recuperação (PEREIRA et al. 2001). Trata-se de uma espécie de fácil dispersão, com elevado banco de sementes nos solos onde ocorrem, fazendo desta espécie uma planta que domina os estágios iniciais, surgindo em áreas que sofreram perturbações (ALVES et al., 2009).

Os trabalhos de Silva (2005), Freitas et al. (2007), Alves et al. (2010) e Pereira Junior et al. (2012) identificaram as espécies *Poincianella pyramidalis*, *Mimosa tenuiflora* e *Aspidosperma pyriforme* e *Croton blanchetianus*, e dentre as que apresentaram maior valor de importância na composição fitossociológica em áreas de Caatinga. De acordo com Sampaio et

al. (1994), são as espécies mais abundantes na maioria dos trabalhos realizados em áreas de Caatinga.

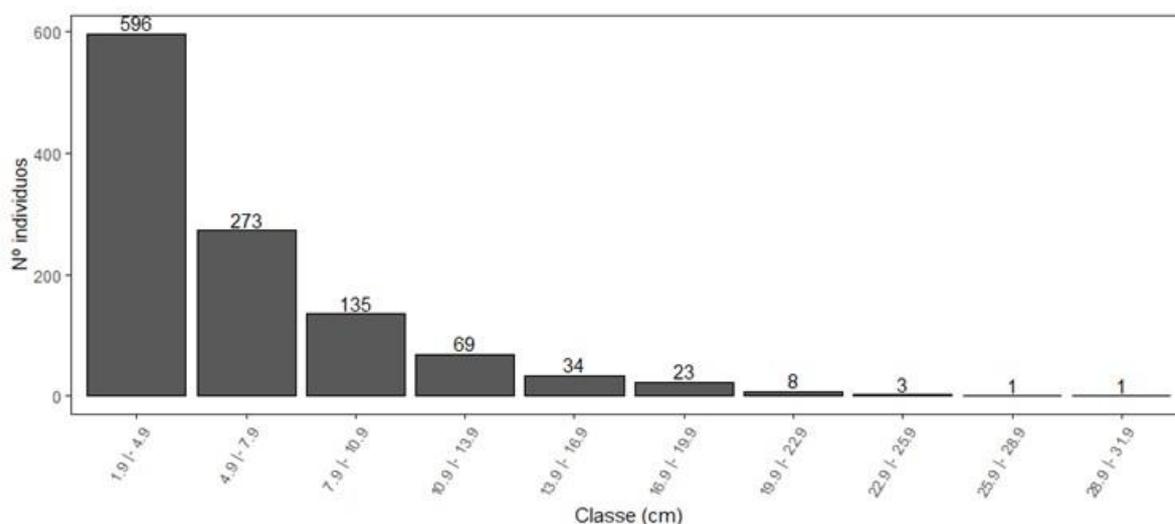
3.5 Estrutura Diamétrica

A distribuição diamétrica da área estudada seguiu a tendência de J-invertido (Figura 4), típica das florestas naturais inequianas (SILVA, 2005). Do total das 1145 plantas inventariadas, 87,8%% (1004 indivíduos) da população amostradas, concentram-se nas três primeiras classes de diâmetro. Esse número tende a diminuir à medida que aumentam as classes de diâmetro, de modo que as demais classes agregam apenas 139 indivíduos (12,2%).

Na maioria dos levantamentos realizados em vegetação Caatinga, é bastante comum encontrar percentuais acima de 90% dos indivíduos concentrados nas menores classes diamétricas, indicando que existe uma grande quantidade de indivíduos jovens na área (AMORIM et al., 2005; ALMEIDA NETO et al., 2009; DANTAS et al., 2010; GUEDES et al. 2012; MARANGON et al., 2013).

O diâmetro máximo foi de 29,5 cm correspondente a um indivíduo de *Cnidoscolus phyllacanthus*. O diâmetro mínimo foi 2,55 cm referente a um indivíduo de *Commiphora leptophloeos*. O diâmetro médio dos indivíduos da amostra da área foi de 5,99 cm. Vale ressaltar que as análises foram feitas tomando como base valores de DAP equivalente.

Figura 4 – Distribuição dos indivíduos em classes de diâmetro, com amplitude de 3 cm, em um fragmento de Caatinga no município de no município de São José de Espinharas-PB



Valor médio semelhante (5,87 cm) foi encontrado por Almeida Neto et al. (2009), no semiárido Paraibano, constatando que 94% dos indivíduos estão inseridos nas três primeiras

classes de diâmetro. Porém, quando comparado a outros trabalhos em área de Caatinga, o valor encontrado é considerado baixo (SANTANA; SOUTO, 2006; ARAÚJO, 2007).

3.6 Estrutura Vertical

Foram usadas três classes de alturas para analisar a estrutura vertical dos indivíduos amostrados: estrato inferior, com árvores com menos de 2,56 m, estrato médio, representado pelas árvores maiores ou iguais a 2,56 e menores que 5,23 m, e o estrato superior, composto por árvores maiores ou igual a 5,23 m (Tabela 5).

A vegetação apresenta a maior parte dos indivíduos inseridos no estrato médio ($2.56 \leq H < 5.23$), que representa 78,07% da densidade de indivíduos, e 11,3%, totalizando 89% da população amostrada com alturas inferiores a cinco metros, composta por espécies do grupo ecológico de plantas pioneiras (Figura 5).

Tabela 2– Estimativas médias de número de árvores por espécie, por hectare, por estrato de altura (Ht), em ordem decrescente de VI%.

Espécie	H < 2.56	2.56 ≤ H < 5.23	H ≥ 5.23
<i>Poincianella pyramidalis</i>	22,5	261,25	38,75
<i>Mimosa tenuiflora</i>	31,25	207,5	51,25
<i>Aspidosperma pyrifolium</i>	45	167,5	6,25
<i>Croton blanchetianus</i>	25	163,75	2,5
<i>Combretum leprosum</i>	7,5	70	8,75
<i>Jatropha mollissima</i>	11,25	51,25	2,5
<i>Piptadenia stipulacea</i>	0	42,5	12,5
<i>Bauhinia cheilantha</i>	3,75	70	6,25
<i>Cnidoscolus phyllacanthus</i>	0	3,75	6,25
<i>Sideroxylon obtusifolium</i>	7,5	32,5	0
<i>Anadenanthera colubrina</i>	0	22,5	8,75
<i>Commiphora leptophloeos</i>	2,5	6,25	1,25
NI	0	7,5	2,5
<i>Myracrodruon urundeuva</i>	0	2,5	1,25
<i>Handroanthus impetiginosus</i>	3,75	0	0
<i>Cynophalla flexuosa</i>	0	1,25	1,25
<i>Libidibia ferrea</i>	0	1,25	1,25
<i>Auxemma oncocalyx</i>	0	5	0
<i>Pseudobombax marginatum</i>	0	1,25	0
<i>Ziziphus joazeiro</i>	0	0	1,25
<i>Croton conduplicatus</i>	1,25	0	0

A maior densidade estimada para o estrato médio foi para *Poincianella pyramidalis*, com 261,25 indivíduos.ha⁻¹, seguida por *Mimosa tenuiflora* 207,5, *Aspidosperma pyriforme* 167,5 e *Croton blanchetianus*, com 163,75 indivíduos.ha⁻¹, o que corresponde a 71,6% dos indivíduos amostrados para o estrato médio.

Para o estrato inferior a espécie *Aspidosperma pyriforme* apresentou a maior densidade de indivíduos (45), seguida pela espécie *Mimosa tenuiflora* (31,25), agregando 47,28% das espécies para nesse estrato.

No estrato superior, foram estimados 152,5 indivíduos. ha⁻¹, tendo as espécies *Poincianella pyramidalis* e *Mimosa tenuiflora* como as mais representativas para esse estrato, totalizando 59% dos indivíduos amostrados.

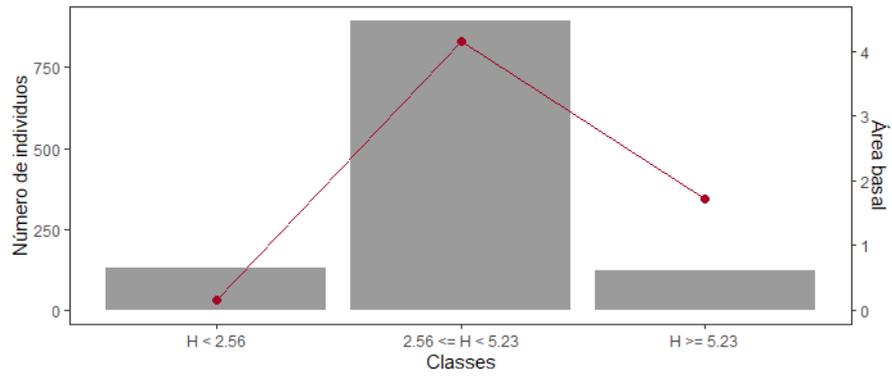
A maior altura registrada foi de 14 m para um indivíduo de jurema preta (*Mimosa tenuiflora*), e a menor altura para um indivíduo de catingueira (*Poincianella pyramidalis*), cuja altura foi de 1,8 m. A altura média encontrada para todas as espécies foi de 3,88 m.

Resultados semelhantes foram encontrados nos trabalhos realizados por Calixto Junior et al. (2011), 3,8m analisando a estrutura da vegetação de Caatinga após intervenção de corte raso há 30 anos; Santos et al. (2017), para duas áreas de Caatinga localizadas na comunidade Santa Gertrudes, Patos-PB, registraram uma altura média de 4,14 m e 4,24 m, e Guedes et al. (2012) estimaram um altura de 4,02 m estudando um remanescente de Caatinga no município de Santa Terezinha, Paraíba.

Analisando os valores de área basal dentro das classes de altura (Figura 5), constatou-se que a segunda classe de altura ($2,56 \leq H < 5,25$) apresentou maior área basal 4,148 m².ha⁻¹, seguido pela classe superior ($H \geq 5,23$) com área basal de 1,711 m².ha⁻¹ e a menor área basal foi identificada na primeira classe de altura ($H \leq 2,26$), apresentando uma área basal de 0,158 m².ha⁻¹. sendo o valor total da área basal estimado em 6,017 m².ha⁻¹.

Os valores de área basal por classes de alturas foram inferiores aos de Dantas et al. (2010), que estimaram uma área basal de 11,546 m².ha⁻¹; Rodal et al. (2008) encontraram uma área basal de 18,5 m².ha⁻¹, avaliando uma área no sertão de Pernambuco.

Figura 5– Distribuição do número de indivíduos em classe de alturas



4 CONCLUSÕES

As famílias Fabaceae e Euphorbiaceae foram as famílias mais representativas em número de espécies arbustivo arbóreas no fragmento de caatinga estudado.

As espécies *Poincianella pyramidalis*, *Mimosa tenuiflora*, *Aspidosperma pyriformis*, *Croton blanchetianus* e *Combretum leprosum*, destacaram-se com os maiores índices de valor de importância (VI %).

Os valores encontrados para os índices de diversidade apresentaram valores consideráveis para o índice de Shannon (2,19), Pielou (0,72) e coeficiente de mistura de Jentsch (1/54,5), sendo semelhantes a diversas áreas de Caatinga

A composição florística foi semelhante à de outras áreas com histórico de perturbação, inferindo-se que a área sofreu algum tipo de perturbação antrópica e está em fase de recuperação.

A estimativa de área basal foi inferior a outros levantamentos realizados em áreas de caatinga.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, U. P.; ANDRADE, L. H. conhecimento botânico tradicional e conservação em uma área de caatinga no estado de pernambuco, nordeste do Brasil. **Acta Botânica Brasilica**, v. 16, n3. P. 273–285, 2002.
- ALMEIDA ENTO, J. X. J. ANDRADE, A. P. LACERDA, A. V.; FÉLIX, L. P.; BRUNO, E. L. A. Composição florística, estrutura e análise populacional do Feijão-Bravo (*Capparis flexuosa* L.) no semiárido paraibano, Brasil. **Revista Caatinga**, v. 22, n. 4, p. 187-194, 2009.
- ALMEIDA NETO, J. X.; ANDRADE, A. P.; LACERDA, A. V.; FÉLIX, L. P.; BRUNO, R. L. A. Composição florística, estrutura e análise populacional do Feijão-Bravo (*Capparis flexuosa* L.) no semiárido Paraibano, Brasil. **Revista Caatinga**, v. 22, n. 4, p. 187-194, 2009.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- ALVES, L. S.; HOLANDA, A. C.; SOUZA, J. S.; ALMEIDA, P. G. Regeneração natural em uma área de Caatinga situada no município de Pombal-PB. **Revista verde**, v. 5, n. 2, p. 152-168, 2010.
- AMORIM, I. L.; SAMPAIO, E. V. S. B.; ARAÚJO, E. L. Flora e estrutura da vegetação arbustivo-arbórea de uma área de caatinga do Seridó, RN, Brasil. **Acta Botânica Brasilica**, v.19, n. 3, p. 615-623, 2005.
- ANDRADE, L. A.; PEREIRA, I. M.; LEITE, U. T.; BARBOSA, M. R. V. Análise da cobertura de duas fitofisionomias de Caatinga, com diferentes históricos de uso, no município de São João do Cariri, Estado da Paraíba. **Cerne**, v. 11, n. 3, p. 253-262, 2005.
- ANDRADE-LIMA, D. **O domínio das Caatingas**. Recife: Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária. 1992, 48p.
- ARAÚJO, L. V. C. **Composição florística, Fitossociologia e influência dos solos na estrutura da vegetação em uma área de Caatinga no semiárido Paraibano**. 2007. 121f. Tese (Doutorado). Universidade Federal da Paraíba, Areia-PB.
- BARBOSA, M. D.; MARANGON, L. C.; FELICIANO, A. L. P.; FREIRE, F. J.; DUARTE, G. M. T. Florística e fitossociologia de espécies arbóreas e arbustivas em uma área de Caatinga em Arcoverde, PE, Brasil. **Revista Árvore**, v. 36, n. 5, p 851-858, 2012.
- BATISTA J. L. F.; COUTO, H. T. Z.; FILHO, D. F. S. **Quantificação de recursos florestais: árvores, arvoredos e florestas**. 1. ed. São Paulo: Oficina de textos, 2014.
- BROWER, J. E.; ZAR, J. H. **Field and laboratory methods for general ecology**. 2. ed. Dubuque: Wm. C. Brown Publishers, 1984. 226 p.
- CALEGÁRIO N. **Parâmetros florísticos e fitossociológicos da regeneração natural de espécies arbóreas nativas no sub-bosque de povoamento *Eucalyptus*, no município de**

- Belo Oriente, MG.** 1993. 114f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1993.
- CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração Florestal: perguntas e respostas.** 5. ed. Viçosa:UFV, 2017.
- CALIXTO JÚNIOR, J. T.; DRUMOND, M. A. Estrutura de um fragmento de Caatinga Sensu Stricto 30 anos após corte raso, Petrolina-PE, Brasil. **Revista Caatinga**, v. 25, n. 2, p. 67–74, 2011.
- CURTIS, J. T. Na upland Forest continuum in the prairies forest border region of Wisconsin. **Ecology**, v. 32, p. 476-96, 1951.
- CURTIS, J. T.; MCINTOSH, R. P. The interrelations of certain analytic and synthetic phytosociological characters. **Ecology**, v. 31, p. 434-455, 1950.
- DANTAS, J. G.; HOLANDA, A. C.; SOUTO, L. S.; JAPIASSU, A. Estrutura do componente arbustivo/arbóreo de uma área de Caatinga situada no município de Pombal-PB, **Revista Verde**, v.5, n. 1, p. 134-142, 2010.
- DARIO, F. R. Estudo Fitossociológico de uma área de Caatinga em estágio inicial de sucessão ecológica no estado da Paraíba, Brasil. **Geotemas**, v. 7, n. 1, p. 71-83, 2017.
- Desenvolvimento Sustentável**, v.2, n. 1, p. 135 – 147, 2007.
do Cariri, Estado da Paraíba. **Cerne** 2005; v. 11 n.3, p. 253-262, 2005.
em Ciências Florestais). Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE,
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Solos do Nordeste.** Recife, Embrapa Solos, 2014.
- FABRICANTE, J. R.; ANDRADE, L. A. Análise de um remanescente de Caatinga no Seridó Paraibano. **Oecol. Bras.**, v. 11, n. 3, p. 341–349, 2007.
- FERRAZ, J. S. F.; FERREIRA, R. L. C.; SILVA, J. A. A.; MEUNIER, I. M. J.; SANTOS, M. V. F. Estrutura do componente arbustivo arbóreo da vegetação em duas áreas de caatinga, no município de floresta, Pernambuco. **Revista Árvore**, Viçosa, v.38, n.6, p. 1055-1064, 2014.
- FERRAZ, R. C.; MELLO, A. A.; FERREIRA, R. A.; PRATA, A. P. N. Levantamento fitossociológico em área de Caatinga no Monumento Natural Grota do Angico, Sergipe, Brasil. **Revista Caatinga**, v. 26, n. 3, p. 89-98, 2013.
- FREITAS, R. A. C.; SIZENANDO FILHO, F. A.; MARACAJÁ, P. B.; DINIZ FILHO, E. T.; LIRA, J. F. B. Estudo florístico e fitossociológico do extrato arbustivoa-rboreo de dois ambientes em Messias Targino Divisa RN/PB. **Revista Verde**, v.2, n.1, p. 135-147, 2007.
- GUEDES, R. S.; ZANELLA, V. C. F.; JUNIOR, C. V. E. J.; SANTANA, G. M.; DA SILVA, J. A. Caracterização florística–fitossociológico do componente lenhoso de um trecho de Caatinga no Semiárido Paraibano. **Revista Caatinga**, v.25, n. 2, p. 99–108, 2012.

HOZOKAWA, R. T. **Manejo de florestas tropicais úmidas em regime de rendimento sustentado**. Curitiba, PR: Universidade Federal do Paraná, 1981, 125 p. (Relatório Técnico).

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico, 2010**.

KREBS, C. J. 1999. **Ecological Methodology**. Universidade de Michigan, Ed. Harper & Row, 1989, p 654.

LAMPRECHT, H. **Silvicultura nos trópicos: ecossistemas florestais e respectivas espécies arbóreas- possibilidades e métodos de aproveitamento sustentado**. Eschborn: Deutsche Gessells Chaft fur Technisch Zusammenarbeti (GTZ) Gmbh, 1990, 343 p.

LEAL, L. R.; TABARELLI, M; SILVA, J. M. C. **Ecologia e conservação da Caatinga**. Ed. Universitária, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil. 822p., 2003.

LEITÃO, A. C.; VASCONCELOS, W. A.; CAVALCANTE, A. M. B.; TINÔCO, L. B. M.; FRAGA, V. S. Florística e estrutura de um ambiente transicional caatinga-mata atlântica. **Revista Caatinga**, v.27, n.3, p.200-210, 2014.

LEITE, J.A.N.; ARAÚJO, L.V.C.; ARRIEL, E.F.; CHAVES, L.F.C.; NÓBREGA, A.M.F. Análise quantitativa da vegetação lenhosa da Caatinga em Teixeira, PB. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v.35, n.82, p.89-100, 2015.

LUCENA, M. S. **Fitossociologia e acúmulo de serapilheira em uma área de caatinga submetida a diferentes sistemas silviculturais**. 2017, 150 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Saúde e Tecnologia Rural, 2017.

MAIA, G. N. **Caatinga - árvores e arbustos e suas utilidades**. 1. ed. São Paulo: D&Z Computação Gráfica e Editora, 2004. 413 p.

MARANGON, G. P.; FERREIRA, R. L. C.; DA SILVA, J. A. A.; SOUZA E LIRA, D. F.; SILVA, E. A.; LOUREIRO, G. H. Estrutura e padrão espacial da vegetação em uma área de Caatinga. **Floresta**, v. 43, n. 1, p. 83–93, 2013.

MARANGON, G. P. Estrutura e padrão espacial em vegetação de caatinga. 2011. 74 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2011.

MARISCAL FLORES, E. J. **Potencial produtivo e alternativas de manejo sustentável de um fragmento de Mata Atlântica Secundária, Município de Viçosa, Minas Gerais**. 1993. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, MG, 1993.

MATTEUI, W. G.; COLMA, A. **Metodologia para el estudio de la vegetación**. Washigton: OEA, 1982. 168 p.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Florestas do Brasil em resumo – 2010: dados de 2005 a 2010**. Serviço Florestal Brasileiro. Brasília: SFB, 2010. 152 p.

ODUM, E. P. **Ecologia**. Rio de Jeniro: Editora Guanabara S. A., 1983. 434 p.

PÉLLICO NETTO, S.; BRENA, D.A. **Inventário Florestal**. Curitiba: UFPR, 1997. v.1, 316p.

PEREIRA JUNIOR, L. R.; ANDRADE, A. P.; ARAÚJO, K. D. Composição florística e fitossociológica de um fragmento de Caatinga em Monteiro, PB. **Revista holos**, v.6 n. 1, p. 73-87, 2012.

PEREIRA, I.M.; ANDRADE, L.A.; COSTA, J.R.M.; DIAS, J.M. Regeneração natural em um remanescente de caatinga sob diferentes níveis de perturbação, no agreste paraibano. **Acta Botânica Brasileira**, v. 15, n. 3, p.289-450, 2001.

PERKINS, J. L. Shannon-Wever or Shannon-Wiener? **Journal Water Pollut. Contr. Fed.**, v. 54, p. 1049-1050, 1982.

QUEIROZ, L. P. de. et al. Caatinga. IN: JUNCÁ, F.A.; FUNCH L.; R. WASHINGTON. **Biodiversidade e Conservação da Chapada Diamantina**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2005. p. 96- 120.

R CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing, version 3.6.2**. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2017.

COMITÊ TÉCNICO CIENTÍFICO DA REDE DE MANEJO FLORESTAL DA CAATINGA. **Protocolo de medições de parcelas permanentes**. Recife, PE: RMFC, 2005. 21 p.

RODAL, M. J. N. **Fitossociologia da vegetação arbustiva-arbórea em quatro áreas de caatinga em Pernambuco**. 1992. 198p. Tese (Doutorado). Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP.

RODAL, M. J. N.; COSTA, K. C. C.; SILVA, N. C. B. L. Estrutura da vegetação caducifólia espinhosa (caatinga) de uma área do sertão central de Pernambuco. **Hoehnea**. v.35, n. 2. 2008, p. 209-217.

SABINO, F. G. S.; CUNHA, M. C. L.; SANTANA, G. M. Estrutura da vegetação em dois fragmentos de Caatinga Antropizada na Paraíba. **Floresta ambiente**, v. 23. N. 4, p. 487-497. 2016.

SAMPAIO, E. V. S. B. Fitossociologia. In: SAMPAIO, E. V. S. B.; MAYO, S. J.; BARBOSA, M. R. V. (Ed.). **Pesquisa botânica nordestina: progressos e perspectivas**. Recife: Sociedade Botânica do Brasil/Seção Regional de Pernambuco, 1996. p. 203- 230.

SAMPAIO, E.V.S.B.; SOUTO, A.; RODAL, M.J.N.; CASTRO, A.A.J.F.; HAZIN, C. **Caatingas e Cerrados do NE: biodiversidade e ação antrópica**. In: Conferência Nacional e Seminário Latino-Americano de Desertificação. ESQUE/PNUD: Fortaleza, 1994.

SANTANA, J. A. S. Padrão de distribuição e estrutura diamétrica de *Croton sonderianus* Muell. Arg. (Marmeleiro) na caatinga da Estação Ecológica do Seridó. **Revista verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.4, n. 3, p. 5-90, 2009.

SANTANA, J. A. S. S.; SANTANA JUNIOR, J. A. S.; BARRETO, W. S.; FERREIRA, A. T. S. Estrutura e distribuição espacial da vegetação Caatinga na estação Ecológica do Seridó, RN. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 36, n. 88, p. 355-361, 2016.

SANTOS, R. C.; CASTRO, R. V. O.; CARNEIRO, A. C. O.; CATRO, A. F. N. M.; PIMENTA, A. S.; PINTO, E. M.; MARINHO, I. V. Estoque, biomassa e carbono na madeira de espécies da Caatinga em Caicó, RN. **Pesq. Flor. Bras.**, v. 36, n. 85, p 1-7, 2016.

SANTOS, W. S.; SOUZA, M. P.; SANTOS, W. S.; MEDEIROS, F. S.; ALVES, A. R. Estudo fitossociológico em fragmento de Caatinga em dois estágios de conservação, Patos, Paraíba. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 13, n. 4, p. 315-321, 2017.

SILVA, J. A. **Fitossociologia e relações alométricas em caatinga nos estados da Paraíba e Rio Grande do Norte**. 2005. 93 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

SILVA, J. M. C.; TABARELLI, M. **Diversidade a adversidade**. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 1999. p.7-11. (Cadernos de Extensão).

SOUZA, A. L. **Notas de aula de manejo florestal**. Viçosa, MG: UFV/DEF, 1990. 73 p.

TROVÃO, D.M.B.M. **Fitossociologia e Aspectos Ecofisiológicos do Componente Lenhoso em Fragmentos de Caatinga na Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Bodocongó - Paraíba**. 2004. 108f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais). Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande – PB.

VELLOSO, A. L.; SAMPAIO, E. V. S. B.; PARENRY, F. G. C. **Ecorregiões – propostas para o bioma Caatinga**. Recife: Associação Plantas do Nordeste; Instituto de Conservação Ambiental The Nature Conservancy do Brasil, 2002.

CAPÍTULO II
ESTIMATIVA DE BIOMASSA AÉREA DE CAATINGA COM USO DE
EQUAÇÕES ALOMÉTRICAS E ÍNDICES DE VEGETAÇÃO

ESTIMATIVA DE BIOMASSA AÉREA DE CAATINGA COM USO DE EQUAÇÕES ALOMÉTRICAS E ÍNDICES DE VEGETAÇÃO

RESUMO – A quantificação de indivíduos arbustivos e arbóreos pode ser obtida através de métodos diretos e indiretos. A utilização de técnicas de geoprocessamento possibilita realizar estimativa de biomassa com rapidez e baixo custo principalmente em áreas extensas. O objetivo deste trabalho foi utilizar imagens índice de vegetação provenientes do Sensor Sentinel-2 e equações alométricas de biomassa de vegetação caatinga e gerar modelos para estimar a biomassa lenhosa através de regressão. Os índices de vegetação utilizados apresentaram fortes correlação significativa com a biomassa, sendo as maiores correlações medidas para os índices STVI 4 ($R= 0,87$) e STVI-1 ($R=0,83$). O melhor modelo selecionado foi o STVI-4 $R^2= 0,75$ e desvio padrão residual igual a 4,77 t/ha, sendo recomendado a sua utilização para mapeamento da vegetação caatinga, no entanto novos estudos devem ser realizados para atestar a sua eficiência para estimativa de biomassa lenhosa da vegetação caatinga.

Palavras-chave: Semiárido, STVI, Sensoriamento Remoto

ESTIMATE OF CAATINGA AERIAL BIOMASS WITH USE OF ALLOMETRIC EQUATIONS AND VEGETATION INDICES

ABSTRACT - The quantification of shrub and tree individuals can be obtained through direct and indirect methods. The use of geoprocessing techniques can provide biomass estimation at very low costs for large areas. The objective of this work was to use index images of vegetation from the Sentinel-2 Sensor and allometric equations of biomass of caatinga vegetation and generate models to estimate woody biomass through regression. The vegetation indices used showed strong significant correlation with biomass, with the highest correlations being measured for the STVI 4 ($R = 0.87$) and STVI-1 ($R = 0.83$) indices. The best models selected from the determination coefficient and residual standard deviation, was the STVI-4 ($R^2=0.75$) and residual standard deviation equal to 4.77 t/ha, being recommended its use for mapping the caatinga vegetation. however, further studies must be carried out to attest to its efficiency in estimating woody biomass from caatinga vegetation.

Keywords: Semiarid, STVI, Remote Sensing

1 INTRODUÇÃO

A vegetação caatinga é descrita por Andrade-Lima (1981) como uma formação vegetal de porte arbóreo-arbustivo, encontrada exclusivamente no domínio do clima semiárido do Nordeste, sendo classificada como savana estépica, hierarquizada em várias tipologias (IBGE, 1991).

Apresenta enorme variabilidade, sobretudo, pela fisionomia, densidade, composição de espécies e aspectos fenológicos. A cobertura vegetal é composta por formações xerófilas e caducifólias, conhecida como a caatinga com elevado grau de endemismo e heterogeneidade devido as condições climáticas, edáficas, topográficas e antrópicas dessa região (SAMPAIO, 1995; PRADO, 2003).

A maior parte das espécies são herbáceas, cactáceas, bromeliáceas, arbustivas e arbóreas de pequeno porte. Aproximadamente 70% da vegetação caatinga encontra-se alterada, e apenas 2% de sua área protegida na forma de unidades de conservação. A degradação da área acontece principalmente por ações antrópicas, desmatamento e queimadas de áreas florestadas, para prática agrícola, pecuária extensiva e extração de lenha para fins energéticos (DRUMOND et al., 2000; TABARELLI et al., 2000; GARIGLIO et al., 2010).

A região Nordeste apresenta elevada dependência de lenha e carvão vegetal para alimentar a sua matriz energética, seja domiciliar ou industrial. Estima-se que a demanda total de lenha para no Nordeste para o ano de 2006 era de ordem de 34,5 milhões, sendo 25,1 milhões para os setores industrial e comercial e 9,4 milhões para o setor residencial. (RIEGELHAUPT; PAREYN, 2010). De acordo com informações atualizadas (IBGE, 2015), o consumo para o ano 2015 foi de aproximadamente 22,3 milhões de estéreos de lenha.

As informações quantitativas e qualitativas são obtidas através de inventário florestal, e na maioria das situações, é um método caro e oneroso em áreas extensas e de difícil acesso. Recentemente surgiu o interesse em quantificar a produção florestal em biomassa ou massa seca da árvore como medida de produção lenhosa (ALVES et al., 2013; BATISTA et al., 2014; CAMPOS; LEITE, 2017).

A quantificação da biomassa de um indivíduo arbustivo-arbóreo pode ser obtida por métodos diretos e indiretos. Basicamente, o método direto envolve o abate das árvores, apresenta custos elevados e maior precisão, porém é difícil de ser implementado em áreas extensas. Os métodos indiretos são baseados em análises de regressão, ajustadas a partir de amostras calculadas pelo método direto para gerar estimativas confiáveis (LANA et al., 2018).

Através de estimativas pelos métodos indiretos, utilizando-se de equações alométricas aliadas às técnicas de geoprocessamento e imagens de sensores remotos para derivar imagens índices de vegetação, podem ser utilizadas para realizar estimativas de biomassa com custos bastante reduzidos, para grandes áreas, em um tempo muito menor.

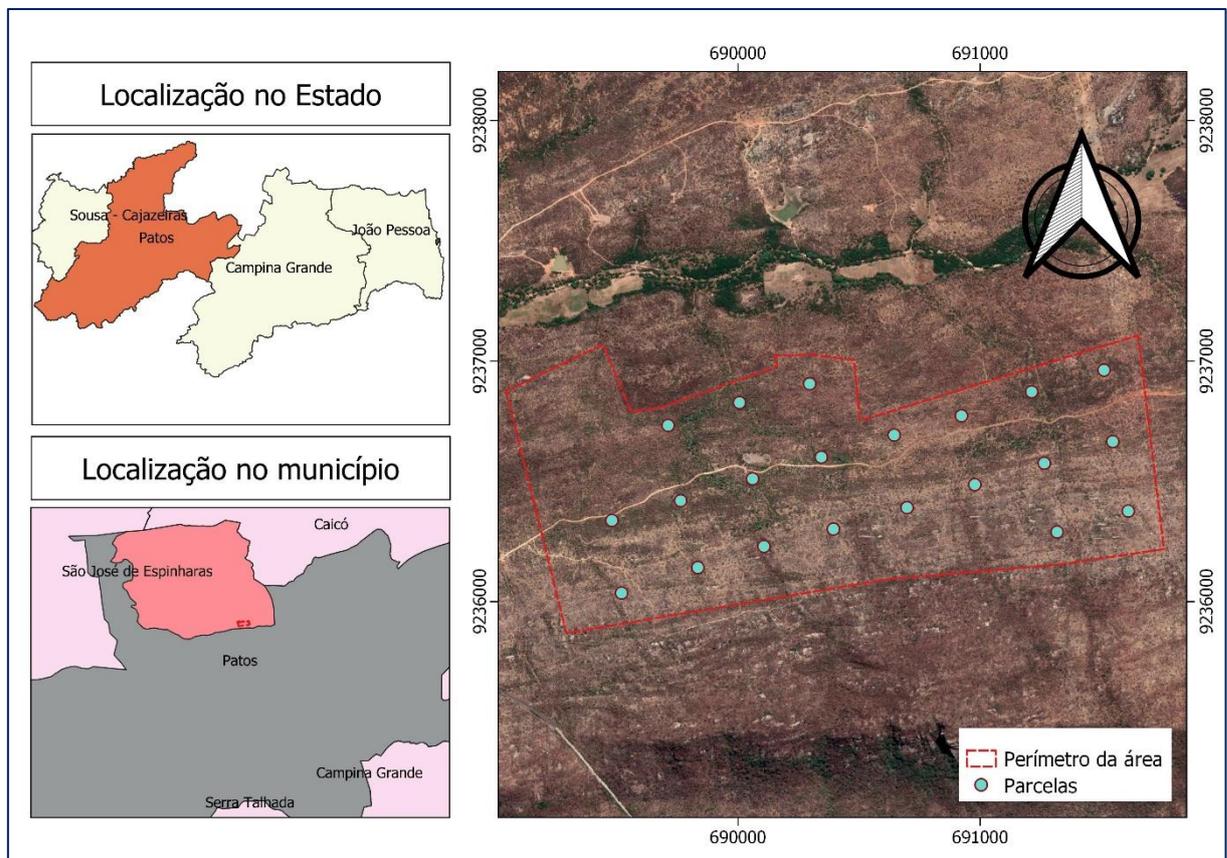
Essas informações são essenciais para o planejamento estratégico do uso sustentável dos recursos florestais da vegetação caatinga. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi utilizar índices de vegetação derivados das imagens provenientes do Sensor Sentinel-2 e equação alométrica para estimar a biomassa lenhosa de uma área de caatinga no semiárido paraibano através de modelos matemáticos de regressão.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

O estudo foi conduzido em uma área florestal, localizada no município de São José de Espinharas, Paraíba, situada na região intermediária e imediata de Patos (IBGE, 2017). O inventário florestal foi realizado em uma área de aproximadamente 227 hectares, inseridas nas coordenadas UTM, zona 24 S, datum sirgas 2000, delimitadas em 689033, 691766 Leste e 9236887, 9236209 Norte (Figura 1).

Figura 1– Mapa de Localização da área



2.2 Estrutura amostral e inventário florestal

As parcelas foram instaladas na segunda metade do ano de 2019. Foram locadas 20 parcelas permanentes medindo 20 m x 20 m e distribuídas sistematicamente na área com distância entre si de 300 m e 100m da bordadura, totalizando uma área amostrada de 0,8 ha.

Foram medidos todos os indivíduos com circunferência a 1,30 do solo (CAP) ≥ 6 cm, os quais foram etiquetados e identificados.

As parcelas foram instaladas seguindo sempre a orientação norte para o primeiro alinhamento, segundo sentido horário. Cada parcela foi georreferenciada, através de um dispositivo *Global Navigation Satellite System* (GNSS) -GARMIN, modelo 62sc e erro espacial menor que 10m, na qual foram marcadas as coordenadas do vértice, referenciadas ao datum Sirgas 2000 e sistema de projeção UTM, para localizar a parcela na imagem Sentinel, de modo que a extração dos valores de reflectância correspondente a cada parcela inventariada fosse extraída para seus respectivos índices de vegetação.

2.2.1 Cálculo da biomassa por parcela amostrada

A biomassa da vegetação foi determinada indiretamente para cada planta amostrada, utilizando modelo desenvolvido por Sampaio; Silva (2005) , baseada na altura da planta e área do caule. Para as plantas bifurcadas, foi calculado o DAP equivalente.

$$\text{Biomassa (kg)} = (0,1085 (AB_{\text{cm}^2} \times H_{\text{m}})^{0,9497}), R^2 = 0,9494 \quad (1)$$

Em que: AB = Área basal (cm); H= Altura (m)

2.3 Dados de Sensoriamento Remoto

Os dados espectrais utilizados neste estudo foram derivados da missão Copernicus, especificamente o sensor Sentinel 2 MSI (Tabela 1). As imagens foram obtidas no site da agência espacial europeia, em Copernicus Open Access Hub, para o mês de junho, data aproximada ao período inicial de estiagem, mas que as espécies ainda preservam grande parte de suas folhas.

As imagens adquiridas passaram pelo processo de pré-processamento para realizar a correção atmosférica, usando o plug-in Sen2cor no software SNAP, para converter as cenas do Level-1C (topo da atmosfera) para o Level-2A . Quatro das treze bandas do sensor Sentinel 2 foram usadas na derivação dos Índices de Vegetação a serem utilizadas como variáveis independentes na modelagem de biomassa.

Tabela 1– Preditores usados para modelagem de biomassa, bandas espectrais, índices resolução e comprimento de onda central das imagens Sentinel-2 utilizadas.

Sensor	Resolução espacial	Bandas e índices	Índices	Definição
	10 m	Banda 4		Red, nm
	10 m	Banda 8		Near Infrared (NIR), 842 nm
	20 m	Banda 11		SWIR-1, 1610 nm
	20 m	Banda 12		SWIR-2, 2190 nm
Sentinel-2		NDVI (Rouse et al., 1974)		$(\text{Band } 8 - \text{Band } 4) / (\text{Band } 8 + \text{Band } 4)$
		STVI1 (Thenkabail et al., 1994)		$(\text{Band } 11 * \text{Band } 4) / \text{Band } 8$
		STVI2 (Thenkabail et al., 1994)		$\text{Band } 8 / (\text{Band } 4 * \text{Band } 12)$
		STVI3 (Thenkabail et al., 1994)		$\text{Band } 8 / (\text{Band } 4 * \text{Band } 11)$
		STVI4 (Javari, 2007)		$\text{Band } 8 - (\text{Band } 4 * \text{Banda } 11) / (\text{Band } 8 + \text{Band } 11)$

2.3.1 Obtenção dos valores de reflectância dos índices de vegetação

Os valores de reflectância foram extraídos das imagens Sentinel-2 para os índices correspondentes através do software QGIS versão 3.10. Foi gerando um buffer de 20 m a partir do centro das coordenadas das parcelas, de modo que, através do plugin Estatísticas Zonais, da caixa de ferramenta QGIS, fosse extraído os valores médios de reflectância de cada parcela georreferenciada/amostrada, sobre cada índice de vegetação.

Estes valores serviram de base para estimar os parâmetros do modelo de regressão juntamente com os valores de biomassa estimado por equação alométrica.

2.4 Análise estatística

Os dados calculados pela equação alométrica, tendo a biomassa como variável dependente e os índices de vegetação como variável independente, foram relacionados entre si através de modelo de regressão linear, com os parâmetros ajustados pelo método dos mínimos quadrados utilizando o software R (R CORE TEAM, 2020).

A relação entre variável dependente e independente foram avaliadas pelo coeficiente de correlação de Pearson. E o ajuste do modelo aos dados foi feito através do coeficiente de determinação (R^2) e escolhendo-se o modelo que apresentasse o menor desvio padrão e o maior valor de coeficiente de determinação.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O valor médio de biomassa lenhosa estimado para a área de estudo através de equação alométrica foi de 22,19 (t/ha), e o valor da biomassa variou de 7,78 t. ha⁻¹ a 41,79 t. ha⁻¹ (Tabela 2). O valor médio encontrado foi superior ao encontrado por Santos et al. (2016), estudando um fragmento de caatinga no município de Caicó, RN. Eles estimaram um valor médio de 12 t/ há,

Sendo inferiores aos de Lima Junior et al. (2014) estudando uma área de Caatinga, localizada no município de Petrolina, PE, que estimaram um valor médio de 33,57 t/ há, que variou de 5,93 até 60,74 t/ha.

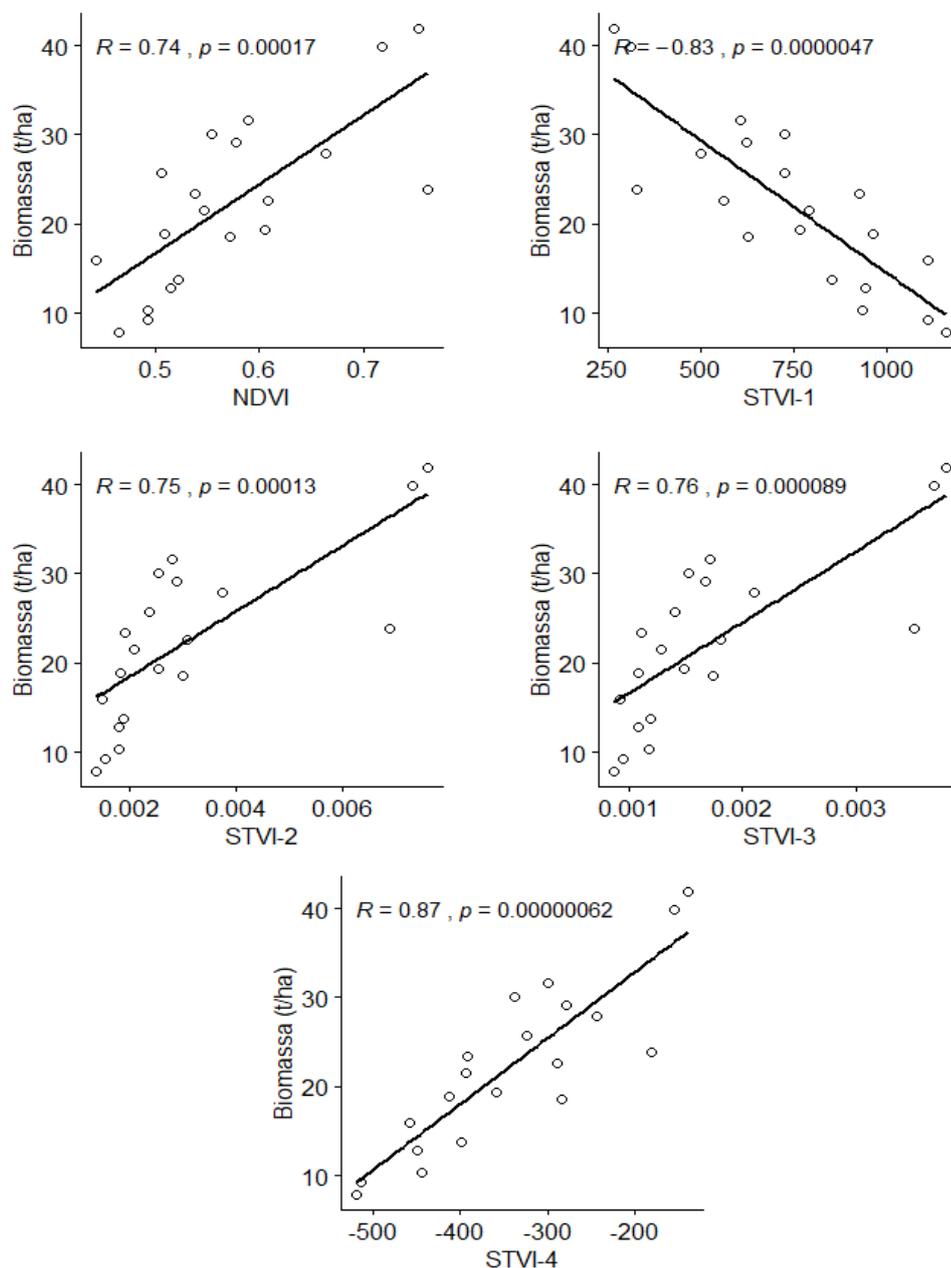
De acordo com Sampaio; Freitas (2008), existe uma grande variação do estoque de biomassa na Caatinga, no entanto, na maioria dos casos, a média para áreas extensas varia entre 30 a 50 t/ha. Como mostra o trabalho de Nascimento (2015), trabalhando em uma área de Caatinga no estado de Pernambuco, estimando valor médio para áreas de Caatinga densa de 38,6 t/ha e 17 t/ha para áreas de Caatinga aberta.

Tabela 2– Identificação das parcelas e biomassa estimada para área de estudo através de equação alométrica.

Parcela	Biomassa (t/ha)
01	19,28
02	13,78
03	31,62
04	18,54
05	41,8
06	23,89
07	22,55
08	21,47
09	39,91
10	23,44
11	25,73
12	12,77
13	9,3
14	15,85
15	27,84
16	30,04
17	10,37
18	7,79
19	18,92
20	29,06
Média	22,19

O coeficiente de correlação de Pearson foi utilizado para verificar a relação entre a biomassa estimada com equação alométrica e índices de vegetação (Figura 2). Os índices de vegetação NDVI, STVI-1, STVI-2, STVI-2, STVI-3 e STVI-4 apresentaram uma forte correlação significativa ($p < 0,05$) com a biomassa estimada, relações mais fortes entre a reflectância dos índices de vegetação e biomassa foram obtidas pelos índices STVI-4 ($R = 0,87$) seguida pelo STVI-1 ($R = 0,83$), este último apresentando uma correlação negativa com os dados (Figura 2) enquanto que os demais índices de vegetação obtiveram correlação positiva com os dados ($p < 0,05$).

Figura–2 Coeficiente de correlação para índice de vegetação e biomassa



A análise de regressão entre a inclinação baseada nos índices de vegetação calculados para o mês de junho de 2019 e biomassa (Tabela 3), sendo os valores dos coeficientes de inclinação da reta significativos ($p < 0,05$) para todas as variáveis preditoras do modelo, constatou que existe uma associação linear entre a variável preditora e os valores observados.

Tabela-3 Resumo estatístico da análise de regressão estimada pelo método dos mínimos quadrados entre índices de vegetação e biomassa

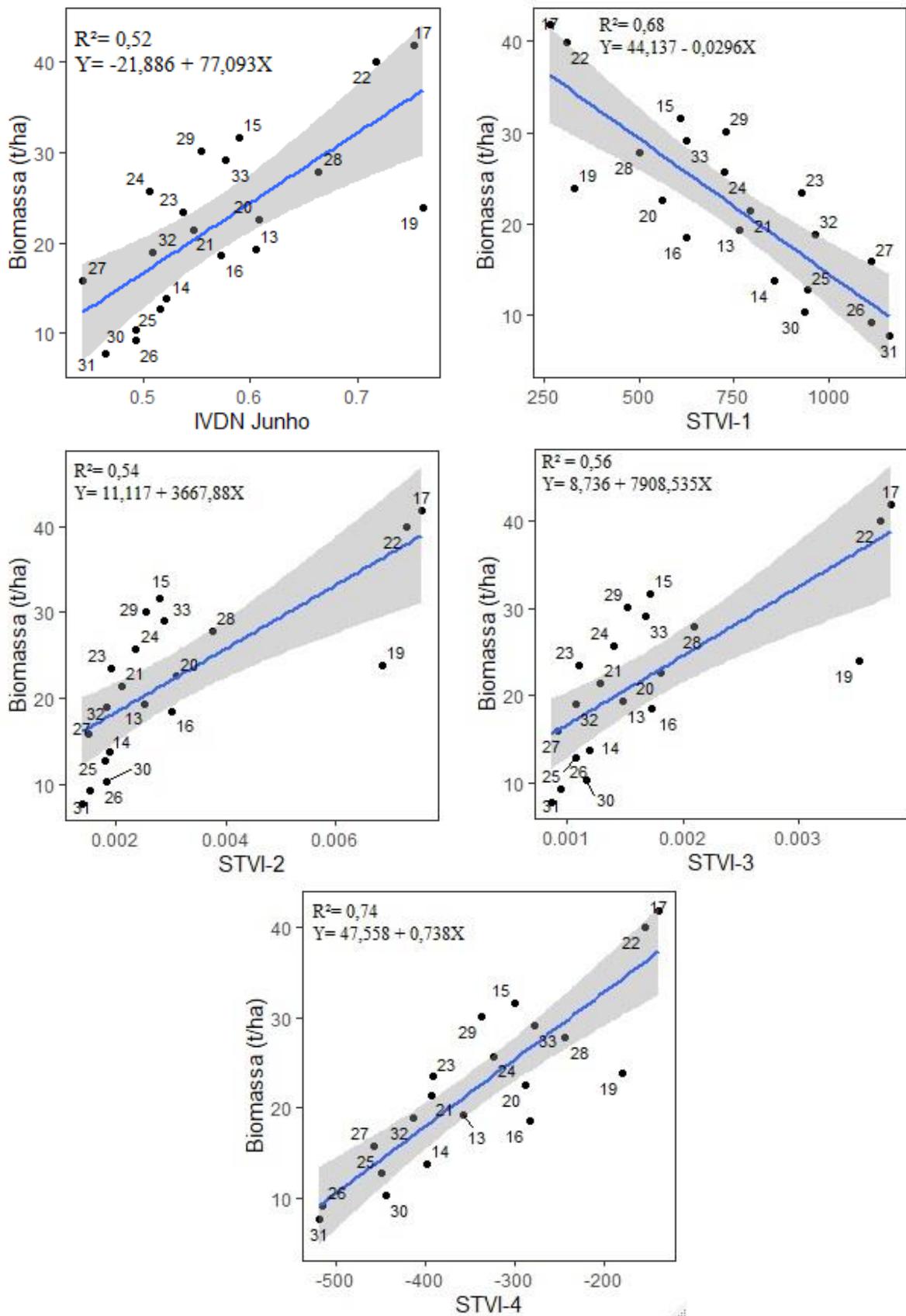
Equação de regressão e estatísticas	Inclinação baseada nos índices de vegetação				
	NDVI	STVI-1	STVI-2	STVI-3	STVI-4
Desvio padrão residual	6,473	5,338	6,397	6,256	4,777
R ²	0,55	0,7	0,56	0,58	0,75
R ² ajustado	0,52	0,68	0,54	0,56	0,74
Estatística F 1 de 18	22,36	41,34	23,32	25,2	56,11
Valor de p	0,000167	0,0000047	0,0000135	0,0000888	0,00000061
Valor de t	-2,32	-6,429	4,829	5,02	7,491

A qualidade de ajuste dos modelos foi avaliada pelo desvio padrão residual e coeficientes de determinação R² (Figura 3). Os valores encontrados para o desvio padrão residual variaram de 4,777 a 6,473 (t/ha), enquanto que os coeficientes de determinação variaram de 0,55 até 0,75 sendo os valores mais altos calculados para STVI-4 (R²=0,75) e STVI-1 (R²= 0,7). De forma semelhante comportaram-se os valores de R² ajustado, variando de 0,52 até 0,74.

De acordo com Li et al. (2018), alguns fatores podem interferir na exatidão das estimativas dos modelos tais como: (1) diferença de reflectância das copas das árvores e demais grupos vegetacionais, o que exige estudos mais aprofundados para aumentar a precisão das estimativas dos modelos; (2) Os erros inerentes ao processo amostral que são inevitáveis; (3) utilização de técnica de aprendizagem de máquinas, que podem simplificar a precisão da estimativa de biomassa, em relação aos métodos mais simples como a regressão linear.

Os valores encontrados para coeficiente de determinação para o índice de vegetação NDVI (R²= 0, 55 e R² ajustado= 0,54) foram os menores dentre as variáveis analisadas, obtendo um desvio padrão residual igual a 6,73 (t/ha), que equivale a um erro relativo de 29,2%. Valores semelhantes foram encontrados por Barati et al. (2011), R²= 0,517, inferindo que este índice parece ser inadequado para mapeamento de áreas de clima seco.

Figura-3 Modelo linear ajustados para os índices de vegetação para fragmento de caatinga em São Jose de Espinharas, PB.



Gasparri et al. (2010) obtiveram valor de $R = 0,559$ na região do Chaco, no Semiárido da Argentina utilizando índice de vegetação NDVI derivado do Sensor Landsat 7 ETM+ e não verificaram significância para banda 4 (NIR) e banda 3 (red). Apenas para o mês de maio foi significativo para o período avaliado (abril a julho de 2002). A falta de correlação da banda 4 (NIR) pode estar relacionada com a influência do solo, decorrente da vegetação estar organizada de forma mais espaçada nesse ambiente, fazendo com que essa mistura diminua a precisão das estimativas de biomassa.

Diversos autores defendem que os dados orbitais devem ser coletados na estação da seca, para atenuar a interferência da resposta espectral por agentes climáticos em estudos de ambientes áridos (CHAVES et al., 2012; FRANCISCO et al., 2012; LIESENBERG et al., 2007). O que é contrário aos princípios estabelecidos para aplicação dos principais índices de vegetação que devem ser aplicados apenas em áreas com vegetação verde (HUETE, 1988; JENSEN, 2009; KUMAR et al., 2006).

Os resultados do estudo de Gasparri et al. (2010) mostram uma alta correlação para detecção remota de biomassa no início da estação seca, em relação ao período das chuvas, devido as respostas fenológicas dos diferentes tipos de vegetação (árvores, arbustos e o estrato herbáceo) para diferentes condições climáticas, sendo um atributo importante para o relacionamento espectrais e cobertura vegetal.

Esse valor é inferior ao encontrado para a relação entre índices de vegetação e biomassa encontrados por Lima Júnior et al. (2014), estudando uma área de Caatinga, com modelo ajustado a partir de equações alométricas e índice de vegetação NDVI derivado de imagens pertencentes ao sensor Landsat 5 TM. Estes autores obtiveram valor de $R^2 = 0,70$ e erro relativo de 31%.

O valor do coeficiente de determinação ($R^2 = 0,54$) encontrado para este estudo está de acordo com o apresentado por Barati et al. (2011), estudando a cobertura vegetal de uma região de clima seco, localizada no Irã. O valor encontrado foi de $R^2 = 0,517$, relatando que o Índice NDVI parece não ser adequado para mapeamento dessa área.

Entretanto, o índice de vegetação STVI-4 foi o mais significativo ($R^2 = 0,74$ e R^2 ajustado = 0,74), com desvio padrão residual calculado em 4,777(t/ha) e erro relativo de 20,1%. O índice de vegetação STVI-1 também se destacou e o valor calculado para desvio padrão residual foi de 5,338 (t/ha), que equivale a um erro relativo de 0,24% e $R^2 = 0,70$ e R^2 ajustado = 0,68.

Esses resultados corroboram as informações de Jafari (2007), que utilizou diversos índices de vegetação para fazer inferências sobre a cobertura florestal em duas áreas florestais em ambiente árido no Sul da Austrália. Este autor constatou que os índices STVI-1 e STVI-4 foram os que obtiveram as relações mais fortes ($R^2=0,88$) e ($R^2=0,82$), respectivamente.

Esses índices são úteis para o mapeamento e análise de vegetação em ambientes áridos, tendo em vista que a maioria dos índices de vegetação que usam a região do vermelho e do infravermelho próximo demonstra serem inadequados para esses ambientes (O'NEILL, 1996).

Naji et al. (2014) utilizaram três índices de vegetação do grupo “*plant-water sensitive vegetation*” para avaliar a cobertura vegetal no Oeste do Iraque. Estes autores constataram que os índices STVI-1 e STVI-4 apresentaram bons resultados para o mapeamento da cobertura vegetal dessa região.

Os índices STVI-1 e STVI-4 pertencem ao grupo de índices de vegetação “*plant-water sensitive*”. Na sua composição estão incluídas as regiões do infravermelho de ondas curtas e médias do espectro eletromagnético, na qual a vegetação apresenta uma menor reflectância do que o solo nessa região, o que colabora para sua detecção (KIMES et al., 1981, DUSEK et al., 1985; BARET et al., 1988; TEHNKABAIL et al., 1994).

O *Stress Related Vegetation Index* (STVI-4) foi desenvolvido para responder de forma positiva ao incremento da vegetação. Esse índice de vegetação contrasta a maior reflectância do infravermelho próximo com a absorção na faixa do vermelho pela clorofila e infravermelho médio pela água. Em decorrência das adaptações morfológicas das plantas de regiões áridas, com menor nível de clorofila, a reflectância na faixa do vermelho é alta, no entanto, na faixa do infravermelho médio, a resposta é menor por causa do conteúdo de umidade na planta (JAFARI, 2007).

A reflectância da vegetação nessas faixas espectrais é determinada, em sua maior parte pelo conteúdo de água na planta, por isso esses índices foram denominados de índices de vegetação sensíveis a planta-água. Esses índices são excelentes preditores de produção, área foliar, biomassa e altura de plantas, apresentando desempenhos melhores do que outros índices, como NDVI e SAVI, por exemplo (JAFARI, 2007).

Os resultados apresentados pelos índices STVI 1 e 4 agregam novas informações com a utilização das bandas do infravermelho médio do sensor Sentinel-2 para modelar a biomassa da vegetação da Caatinga auxiliando na gestão florestal corroborando os trabalhos de Thenkabail et al. (1994); Mundava et al. (2014); Chen; Gillieson (2014); Forkuor et al. (2020), sobre o potencial desses índices para mapeamento da vegetação em ambientes semiáridos.

4 CONCLUSÕES

Os índices de vegetação STVI-4 e STVI-1 apresentaram forte correlação com a biomassa estimada, sendo significativamente correlacionados, obtendo os maiores coeficientes de determinação e erro relativo de 20,1% e 24%, respectivamente, mostrando-se adequados para gerar estimativas de biomassa lenhosa de vegetação caatinga.

No entanto, mais estudos devem ser realizados para validar os resultados nas diversas tipologias florestais do Bioma, tendo em vista a escassez de informações referentes à utilização desses índices no mapeamento de biomassa da vegetação caatinga.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, L. A.; OLIVEIRA, F. X.; NEVES, C. M.; FELIX, L. P. Análise da vegetação sucessional em campos abandonados no agreste paraibano. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.2, n.2, p. 135-142, 2007.
- ANDRADE-LIMA, D. The caatingas dominium. **Revista Brasileira de Botânica**, v.4, n.2, p. 149-153, 1981.
- BARATI, S.; RAYEGANI, B.; SAATI, M.; SHAIPI, A.; BARSÍ, M. Comparison the accuracies of diferente spectra índices for estimation of vegetation cover fraction in sparse vegetated áreas. **The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences**. v., p. 49–56, 2011.
- BARBOSA, J.; BROADBENT, E.; BITENCOURT, M. Remote sensing of aboveground biomass in tropical secondary forests: a review. **International Journal of Forestry Research**, v.1, n.1, p.1-14, 2014.
- BARET, F.; GUYOT, G.; BEGUE, A.; MAUREL, P.; PODAIRE, A. Complementarity of middle-infrared with visible and near-infrared reflectance for monitoring wheat canopies. **Remote Sensing of Enviroment**, v. 26, n.3, p. 213-225, 1988.
- CHAMPION, I.; DUBOIS-FERNANDEZ, P.; GUYON, D.; COTTREL, M. Radar image texture as a function of forest stand age. **International Journal Remote Sensing**, v.29, n.1, p.1795-1800, 2008.
- CHAVES, I. B.; GUIMARÃES, A. P.; LIMA, E. R. V.; FRANCISCO, P. R. M. **Índices Espectrais e Diagnóstico da Degradação da Caatinga na Bacia Hidrográfica do Açude Soledade, Paraíba-BR XIX** Reunião brasileira de manejo e conservação do solo e da água. Anais...Lages-SC: 2012.
- CHEN, Y. GILLIENSON, D. Evaluation of Landsat Tm vegetation índices for estimating vegetation cover on semi-arid rangelands: a case study from Australia. **Canadian Journal of Remote Sensing**. p. 1-17, 2014.
- DEKKER, R. J. Texture analysis and classification of ERS SAR images for map updating of urban areas in The Netherlands. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 41, n.9, p.1950-1958, 2012.
- DRUMOND, M. A.; KILL, L. H. P.; LIMA, P. C. F.; OLIVEIRA, M. C. de; OLIVEIRA, V. R. de; ALBUQUERQUE, S. G. de; NASCIMENTO, C. E. de S.; CAVALCANTI, J. Estratégias para o Uso Sustentável da Biodiversidade da Caatinga. In: Avaliação e identificações de ações prioritárias para a conservação, utilização sustentável e repartição dos benefícios da biodiversidade do bioma caatinga. In: SEMINÁRIO BIODIVERSIDADE DA CAATINGA, I. **Anais...** Petrolina: Embrapa Semiárido, 2000.
- DRUSCH, M.; DEL BELLO, U.; CARLIER, S.; COLIN, O.; FERNANDEZ, V.; GASCON, F.; HOERSCH, B.; ISOLA, C.; LABERINTI, P.; MARTIMORT, P.; MEYGRET, A.; SPOTO, F.; SY, O.; MARCHESE, F.; BARGELLINI, P. Sentinel-2: ESA's optical high-

Resolution mission for GMES operational services. **Remote Sensing of Environment**, v.120, n.1, p.25-36, 2012.

DUSEK, D. A.; JACKSON, R.D.; MUSICK, J.T., Winter wheat vegetation índices calculated from combinations of seven spectral bands. **Remote Sensing of Environment**, v. 18, n.3, p. 255-267, 1985.

FAN, Y.; KOUKAL, T.; WEISBERG, P.J. A sun-crown-sensor model and adapted correction logic for topographic correction of high resolution forest imagery. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v.96, n.1, p.94-105, 2014.

FRANCISCO, P. R. M.; CHAVES, I. B.; LIMA, E. R. V.; BANDEIRA, M. M.; SILVA, B. B. Mapeamento da Caatinga com Uso de Geotecnologia e Análise da Umidade Antecedente em Bacia Hidrográfica. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 5, n. 3, p. 676–693, 11 maio. 2012.

FORKUOR, G.; ZOUNGRANA, J.B. B.; DIMOBE, K.; OUATTARA, B.; VADREVU, K. P.; TONDOH, J. E. Above-ground biomass mapping in West African dryland forest using Sentinel-1 and 2 datasets - A case study, **Remote Sensing of Environment**, v. 236, n. 1, p. 1-15, 2020.

GARIGLIO, M. A.; SAMPAIO, E. V. S. B.; CESTARO, L. A.; KAGEYAMA, P. Y. **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da caatinga**. Brasília: Serviço Florestal Brasileiro, 2010. 367 p.

GASPARRI, N. I.; PARMUCHE, M. G.; BONO, J.; KARSZENBAUM, H.; Assessing multi-temporal Landsat 7 ETM+ imagens for estimating above-ground biomass in subtropical dry forest os Argentina. **Jornal of Arid Environments**, v. 74, n. 1, p. 1262-1270, 2010.

GRAETZ, R. D.; GENTLE, M. R. Study of the relationship between reflectance in the landsat wavebands and composition of na Australian semi-arid shrub rangeland. **Phorogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 48, p. 1721-1730, 1982.

HARALICK, R. M.; SHANMUGAM, K.; DINSTEIN, I. Texture features for image classification. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics**, v.3, n.6, p.610-621, 1973.

HUETE, A. R. A Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, v. 25, n. 3, p. 295–309, 1988.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Manual técnico da vegetação brasileira. Rio de Janeiro: Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1991. 92p. (Série Manuais Técnicos em geo0ciências, 1).

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura – PEVS 2015**.

JAFARI, R. **Arid Land Condition Assessment and Monitoring Using Multispectral and Hyperspectral Imagery**, 2007. 141 p. (Doutorado em filosofia) – The university of Adelaide, Australia, 2007.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. 2. ed. São José dos Campos: Parêntese, 2009. v. 21p. 587.

LIMA JÚNIOR, C.; ACCIOLY, L. J. O.; GIONGO, V.; LIMA, R. L. F. A.; SAMPAIO, E. V. S. B.; MENESES, R. S. C. Estimativa de biomassa lenhosa da caatinga com uso de equações alométricas e índice de vegetação. **Scientia Forestalis**, v. 42, n. 102, p. 289-298, 2014.

KIMES, D. S.; MARKHAM, B. L.; TUCKER, C. J.; MCMURTREY, I. J. E. Temporal relationships between spectral response and agronomic variables of a com canopy. **Remote Sensing of Enviromentment**, v. 11 n1. P. 401-411.

KOKALY, R. F.; DESPIAN, D. G.; CLARK R. N.; LIVO, K. E. Mapping vegetation in Yellowstone National Park using spectral feature analysis of AVIRIS data. **Remote Sensing of Environment**, v. 84, p 437-456, 2003.

KUMAR, L.; SCHIMIDT, K. S.; DE JOG, S. M. Review of hyperspectral remote sensing and vegetation Science. **In**: Van Der Meer FD, De Jong SM (eds) *Imaging spectrometry: basic principles and prospective applications*. Kluwer, Dordrecht, The Netherlands, 2001.

KUMAR, S.; BASTIN, G.; FRIEDEL, M.; NARAIN, P.; SAHA, D. K.; AHUJA, U. R.; MATHUR, B. K. Performance of different vegetation indices in assessing degradation of community grazinglands in Indian Arid Zone. **Agriculture and Hydrology Applications of Remote Sensing**, v. 6411, p. 64110P–64110P–9, 1 dez. 2006.

LANA, M. D.; FERREIRA, R. L. C.; SILVA, J. A. A.; DUDA, G. P.; BRANDÃO, C. F. L. S.; SILVA, A. F. Biomass equantion for caatiga species, **Nativa**, v. 6, n. 5, p. 517–525, 2018.

LAURENT, V. C.; SCHAEPMAN, M. E.; VERHOEF, W.; WEYERMANN, J.; CHÁVEZ, R. O. Bayesian object-based estimation of LAI and chlorophyll from a simulated Sentinel-2 top-of-atmosphere radiance image. **Remote Sensing of Environment**, v.140, n.1, p.318-329, 2014.

LI, B.; WANG, W.; BAI, L.; CHEN, N. WNAG, W. Estimation of aboveground vegetation biomassbased on Landsat-8 OLI satellite images in the Guanzhong Basin, China. **International jornal of Remote Sensing**. P. 1-21, 2018.

LIESENBERG, V.; GALVÃO, L. S.; PONZONI, F. J. Variations in reflectance with seasonality and viewing geometry: Implications for classification of Brazilian savanna physiognomies with MISR/Terra data. **Remote Sensing of Environment**, v. 107, n. 1- 2, p. 276–286, 2007.

MONTENEGRO, C. L. Assessing multi-temporal Landsat 7 ETm+ imges for estimating above–ground biomass in subtropical dry forests of Argentina, **Journal of Arid Environments**, v.74, p. 1262–1270, 2010.

MOUSIVAND, A.; MENENTI, M.; GORTE, B.; VERHOEF, W. Global sensitivity analysis of the spectral radiance of a soil-vegetation system. **Remote Sensing of Environment**, v.145, n.1, p.131-144, 2014.

- MUNDAVA, C.; HELMHOLDZ, P.; SCHUT, A. G. T.; CORNER, R.; MCATEE, B. LAMB, D. W. Evaluation of vegetation indices for rangeland biomass estimation in the Kimberley area of western Australia. In: ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2014, Instambul. **Anais...Instambul: ISPRS**, v.2 n. 7, 2014.
- NAJI, T. A. H.; GHAZAL, N. K. ALI, H. I. STVI calculation the changes in vegetable cover for a vegetated environment in West Iraq. **Iraq jornal of Physics**, v. 12, n. 24, p.60–67, 2014.
- NASCIMENTO, M. D. **Estimativa o estoque de biomassa arbustiva arbórea por sensoriamento remoto em áreas de Caaatinga em Pernambuco**. 2015. 75 p. Dissertação (Mestre em Tecnologias Energéticas e Nucleares) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015
- O' NEILL, A. L. Satellite-derived vegetation indices applied to semi-arid shrublands in Australia. **Australian Geographer**, v. 27, n. 2, p. 185-199, 1996. p.149-153, 1981.
- PRADO, D. E. As caatingas da América do Sul. In: **Ecologia e Conservação da Caatinga**. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2003. 822 p.
- PRICE, J.C. Variability of high-resolution crop reflectance spectra. **International Journal of Remote Sensing**, v 13, p. 2593-2610, 1992.
- RIEGELHAUPT, E. M.; PAREYN, F. G. C.; GARIGLIO, M. A. O manejo florestal como ferramenta para o uso sustentável e conservação da Caatinga. In: GARIGLIO, M. A. et al. (Orgs.). **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da Caatinga**. Brasília: Serviço Florestal Brasileiro, 2010. 368 p. p. 349-367.
- SAMPAIO, E. V. S. B.; CESTARO, L. A.; KAGEYAMA, P. Y. (Eds.). **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da Caatinga**. Brasília: SFB, 2010. 368 p. p. 65-75
- SAMPAIO, E. V. S. B. Overview of the Brazilian Caatinga. In.: BULLOCK, S. H.; MOONEY, H. A.; MEDINA, E. **Seasonally dry tropical forests**. Cambridge: University Press, 1995. p.35-58.
- SAMPAIO, E. V. D. S. B.; FREITAS, A. D. S. Produção de biomassa na vegetação nativa do semi-árido nordestino. In: MENEZES, R. S. C.; SAMPAIO, E. V. D. S. B.; SALCEDO, I. H. (Ed.). **Fertilidade do solo e produção de biomassa no semi-árido**. Recife: UFPE, 2008. p. 11-25.
- SAMPAIO, V. S. B.; SILVA, C. G. Biomass equations or Brazilian semiarid caatinga plants. **Acta bot. Bras**, v19, n. 4, p. 935-943, 2005.
- SANTOS, R. C.; CASTRO, R. V. O.; CARNEIRO, A. C. O.; CASTRO, A. F. N. M.; Estoque de volume, biomassa e carbono na madeira de espécies da Caatinga em Caicó, RN. **Pesq. Flor. Bras**. V.36, n85, p. 1-7, 2016.

PIMENTA, A. S.; PINTO, E. M.; MARINHO, I. V. Estoques de volume, biomassa e carbono na madeira de espécies da Caatinga em Caicó, RN. **Pesq. Flor. Bras**, c. 36, n. 85, p. 1–7, 2016.

SEGL, K.; GUANTER, L.; GASCON, F.; KUESTER, T.; ROGASS, C.; MIELKE, C. S2eteS: an end-to-end modeling tool for the simulation of Sentinel-2 image products. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.53, n.10, p.5560-5571, 2015.

SHIMADA, M.; ITOH, T.; MOTOOKA, T.; WATANABE, M.; SHIRAIISHI, T.; THAPA, R.; LUCAS, R. New global forest/non-forest maps from ALOS PALSAR data (2007- 2010). **Remote Sensing of Environment**, v.155, n.1, p.13-31, 2014.

STROBL, C.; BOULESTEIX, A. L.; KNEIB, T.; AUGUSTIN, T.; ZEILEIS, A. Conditional variable importance for random forest. **BMC Bioinformatics**, v.9, n.1, p. 1–10, 2008.

TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C.; VICENTE, A.; SANTOS, A. M. Análise de representatividade das unidades de conservação de uso direto e indireto na caatinga: análise preliminar. In: SILVA, J. M. C.; TABARELLI, M. (Coord.) Workshop avaliação e identificação de ações prioritárias para conservação, utilização sustentável e repartição de benefícios da biodiversidade do bioma Caatinga. **Anais...** Petrolina: 2000.

THENKABAIL, P. S.; WARD, A. D.; LYON, J. G.; MAERRY, C. J. Thematic Mapper vegetation indices for determining soybean and corn growth parameters. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. v. 60, n. 4, p.437-442.

WANG, Q.; ATKINSON, P. M. Spatio-temporal fusion for daily Sentinel-2 images. **Remote Sensing of Environment**, v.1, n.204, p.31-42, 2018

WULDER, M. A.; LEDREW, E. F.; FRANKLIN, S. E.; LAVIGNE, M. B. Aerial image texture information in the estimation of northern deciduous and mixed wood forest leaf area index (LAI). **Remote Sensing of Environment**, v. 64. N. 1, p. 64-76, 1998.