

GABRIELA MACÊDO ARETAKIS DE ALMEIDA

**MODIFICAÇÕES NA PAISAGEM DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO: influência
humana e ambiental**

RECIFE
2018

GABRIELA MACÊDO ARETAKIS DE ALMEIDA

**MODIFICAÇÕES NA PAISAGEM DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO: influência
humana e ambiental**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutora em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Linha de Pesquisa: Desenvolvimento e Meio Ambiente

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Rejane Magalhães de Mendonça Pimentel

Coorientadora: Prof^a. Dra. Maria do Socorro Bezerra de Araújo

Coorientador: Prof. Dr. Richard John Heck

RECIFE
2018

Catálogo na fonte
Bibliotecária: Maria Janeide Pereira da Silva, CRB4-1262

A447m Almeida, Gabriela Macêdo Aretakis de.
Modificações na paisagem do Semiárido Brasileiro : influência humana e ambiental / Gabriela Macêdo Aretakis de Almeida. – 2018.
83 f. : il. ; 30 cm.

Orientadora : Prof^a. Dr^a. Rejane Magalhães de Mendonça Pimentel.
Coorientadora : Prof^a. Dr^a. Maria do Socorro Bezerra de Araújo.
Coorientador : Prof. Dr. Richard John Heck.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Pernambuco, CFCH.
Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente,
Recife, 2018.

Inclui Referências.

1. Meio ambiente. 2. Sensoriamento remoto. 3. Urbanização. 4. Resiliência (Ecologia). 5. Espectrorradiometria. 6. Arquitetura foliar. 7. Regeneração natural. I. Pimentel, Rejane Magalhães de Mendonça (Orientadora). II. Araújo, Maria do Socorro Bezerra de (Coorientadora). III. Heck, Richard John (Coorientador). IV. Título.

363.7 CDD (22. ed.)

UFPE (BCFCH2018-091)

GABRIELA MACÊDO ARETAKIS DE ALMEIDA

MODIFICAÇÕES NA PAISAGEM DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO: influência humana e ambiental

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do Título de Doutora em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Aprovada em: 13/03/2018.

BANCA EXAMINADORA

Dra. Rejane Magalhães de Mendonça Pimentel (Orientadora)
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Dra. Josiclêda Domiciano Galvíncio (Examinadora interna)
Universidade Federal de Pernambuco

Dra. Milena Dutra da Silva (Examinadora externa)
Universidade Federal de Alagoas

Dra. Maria das Graças Santos das Chagas (Examinadora externa)
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Dra. Juliana Ramos de Andrade (Examinadora externa)
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Dedico toda a minha vida a Deus,
e este fruto à Ele e à minha
família.

AGRADECIMENTOS

Começo a agradecer a Deus, nosso criador e doador de vida, amor, fé, esperança e paz. Porque d'Ele, por meio d'Ele, e para Ele são todas as coisas. Sem Ele seria impossível caminhar, obrigada Jesus, segue alicerçando minha vida em Teus amorosos ensinamentos e traçando meu futuro de acordo com a Tua vontade perfeita.

Aos meus pais, pais postiços (Ana e Fred), avós, irmãos, cunhados, tios e primos, por me mostrarem o significado do que é família, lugar de amor, carinho, compreensão, união e também de muita fé, onde me sinto sempre amada e abraçada. Cada um vem contribuindo de um modo muito especial para construção de quem eu sou. Aqui faço um agradecimento especial à minha Mamilinda, meu exemplo de mulher e mãe, quem vem me inspirando e incentivando desde meu nascimento, me dando amor e mostrando o caminho do Senhor, mostrando o que é ter fé, valores, caráter, dignidade, coragem, entre outros ensinamentos que tenho aprendido com seu exemplo. Aos meus irmãos, Guel e Belle, meus melhores amigos e grandes exemplos, por estarmos sempre juntos e à postos uns para os outros, em toda e qualquer situação. Estendo também esse agradecimento às lindas famílias que eles formaram, com João e Carol, que seguem crescendo em amor, e acrescentando esse amor à minha vida. Obrigada por me permitir amar e ser amada pelas dádivas que receberam de Deus, meus pequeninos Joãozinho, Duda, Bia e Davi, joias preciosas que cuidaremos com muito amor até o fim de nossos dias. Agradeço ainda à Miguel e Carol por todo incentivo e apoio não somente pessoal, mas também profissional, por todas as noites de sono investidas na ciência, pois elas seriam desesperadoras sem vocês. Às minhas primas-irmãs Nina e Maluzinha que também tiveram participação ativa em tudo isso, sendo companheiras imprescindíveis nas noites em claro, regando-as com muita alegria. À Lila e Igor, meus primos-irmãos, que também tem um papel muito especial na minha vida. À Tia Cris, por estar sempre à postos para ajudar no que for preciso, seja cedendo o escritório, seja fazendo uma deliciosa tapioca rendada. À Tia None e Tio Pedrinho, à Tia Rê, e à Tia Fal por terem acompanhado de perto minha caminhada desde a infância, por todo cuidado, apoio e incentivo. À Tia Verônica, por todo amor e alegria demonstrados em cada passo dado por mim nessa jornada. À Sivuquinha linda, minha Tia mais velha, por todo o amor que sempre faz questão de trazer para mim. À todos os meus familiares de sangue e em Cristo. Faço aqui ainda um agradecimento especial ao meu Tio e Pastor Cláudio Macêdo, por ser mais um instrumento de Deus a me ensinar a viver com Jesus e para Jesus.

À minha orientadora Rejane Pimentel, pelos grandes ensinamentos ao longo de toda minha jornada acadêmica, com quem tive contato desde a graduação, e ao lado de quem concluo agora mais uma etapa. À todos os professores, orientadores e coorientadores que contribuíram para minha formação profissional e pessoal desde a escola e durante essa jornada acadêmica, em especial Ana Carla El-Deir e Rachel Lyra Neves, que tornaram-se, além de exemplos, amigas. À Professora Jarcilene Almeida-Cortez, por ter me orientado durante os estágios à docência, me dando a oportunidade de aprender cada vez mais sobre a profissão docente com seu exemplo.

À todos os antigos e novos integrantes do Laboratório de Fitomorfologia Funcional (LAFF) da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) pela amizade e apoio, e ao Laboratório de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento (SERGEO) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), coordenado pela Professora Josiclêda Galvínio, por todo apoio técnico e institucional. À Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), à Universidade Federal de Pernambuco e ao Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA) pelo apoio institucional. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro.

Aos amigos do PRODEMA Tiago, Patrícia, Eleno, Gilberto, Manuela e Vanessa, pela amizade e colaboração. Em especial agradeço à minha amiga Vanessa Bastos, por todos esses anos de amizade, por todas as nossas vivências, e pelo laço eterno que temos com nosso pequeno Guiguiho, meu afilhado. Pelos amigos que estiveram e ainda estão comigo durante a caminhada da vida, seja na escola, na faculdade, na igreja, nos vários lugares por onde passei. À todos que aqui não tive tempo de nominar, mas que sabem que são tão queridos e amados quanto os que aqui expus. Todos contribuíram e seguem contribuindo para a formação de quem eu sou, agradeço ao Pai pelo privilégio de tê-los ao meu lado. Meus sinceros agradecimentos. Obrigada!

RESUMO

A detecção de mudanças nas paisagens indica as causas e consequências das modificações em diferentes escalas de observação. Para conhecer os fatores que atuam na modificação das paisagens podem ser utilizadas técnicas de sensoriamento remoto, que irão auxiliar na identificação de fatores humanos e ambientais promotores destas mudanças. Além disso, podem ser observadas respostas da vegetação e dos vegetais com relação às adversidades promovidas por estes fatores nas condições do ambiente. Essas respostas podem ser observadas em parâmetros da arquitetura morfoanatômica e do espectro de reflectância foliar, que podem apresentar caracteres de resiliência frente às condições impostas pelo ambiente. No semiárido brasileiro, o ecossistema caatinga encontra-se amplamente fragmentado, sobretudo pela constante pressão humana, sendo um excelente cenário para realização de estudos que envolvam modificações em paisagens considerando influências humanas e ambientais. Diante disso, este trabalho teve por objetivo analisar modificações na paisagem de caatinga, semiárido brasileiro, considerando as respostas da vegetação às alterações humanas e ambientais. Visando responder a este objetivo, esta tese traz dois capítulos, cada um contendo um artigo. No primeiro capítulo o artigo buscou avaliar a dinâmica espaço temporal em uma paisagem de Caatinga no semiárido brasileiro, considerando as influências humanas e climáticas; e no segundo capítulo buscou-se avaliar as respostas de espécies vegetais estabelecidas em área preservada e em regeneração, incluídas no bioma Caatinga no semiárido brasileiro. No primeiro artigo, a paisagem selecionada corresponde ao município Caruaru, Pernambuco. Nesta paisagem foi realizada classificação do uso e cobertura da terra em imagens de satélite dos anos 1990, 1995, 2007 e 2014, onde foram consideradas as classes: Área Urbana, Área Rural, Solo Exposto e Vegetação de Caatinga. Nestas imagens foram calculados os índices: EVI, SAVI, IAF e NDWI. Para estes mesmos anos foram obtidos valores de precipitação. A Área Urbana apresentou aumento em sua extensão de 1990 para 2014. A Área Rural mostrou uma diminuição entre os anos de 1990 e 1995, e em 2014. Solo exposto reduziu de 1995 para 2007 e aumentou em 2014. Na área Vegetação de Caatinga, os índices de vegetação e a precipitação apresentaram menores valores em 1990. Para o segundo artigo foram selecionadas duas áreas de caatinga, uma conservada e outra em regeneração, localizadas no semiárido brasileiro. Para este artigo foram selecionadas quatro espécies: *Poincianella pyramidalis*, *Croton blanchetianus*, *Myracrodruon urundeuva* e *Schinopsis brasiliensis*. Visando identificar as respostas destas espécies vegetais nas áreas

conservada e degradada, foram coletadas amostras foliares de cinco indivíduos de cada espécie em cada área. Estas amostras foram processadas para obtenção de medidas morfoanatômicas, após confecção de lâminas histológicas, e de reflectância espectral, por meio da utilização do espectrorradiômetro FieldSpec® 4 ASD. Com os dados obtidos foram realizadas análises estatísticas para comparação dos parâmetros entre a área preservada e em regeneração para cada espécie. Os diversos parâmetros foliares analisados mostram diferenças entre os indivíduos das espécies entre as áreas preservada e em regeneração.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto. SIG. Urbanização. NDVI. Espectrorradiometria. Resiliência. Arquitetura foliar. Regeneração natural.

ABSTRACT

The detection of changes in landscapes indicates the causes and consequences of changes in different scales of observation. To know the factors that act in the modification of landscapes can be used remote sensing techniques, which will help in the identification of human and environmental factors that promote these changes. In addition, vegetation and plant responses can be observed in relation to the adversities promoted by these factors under environmental conditions. These responses can be observed in parameters of the morphoanatomic architecture and the foliar reflectance spectrum, which can present resilience characters in front of the conditions imposed by the environment. In the Brazilian semiarid region, the caatinga ecosystem is largely fragmented, mainly due to the constant human pressure, being an excellent scenario for studies involving changes in landscapes considering human and environmental influences. The objective of this work was to analyze changes in the Brazilian semiarid caatinga landscape, considering the vegetation responses to human and environmental changes. In order to answer this objective, this thesis has two chapters, each containing an article. In the first chapter the article sought to evaluate the dynamics of time in a Caatinga landscape in the Brazilian semiarid, considering the human and climatic influences; and the second chapter sought to evaluate the responses of plant species established in a preserved and regenerated area, included in the Caatinga biome in the Brazilian semi-arid region. In the first article, the selected landscape corresponds to the Caruaru municipality, Pernambuco. In this landscape, land use and land cover classification was carried out in satellite images from the years 1990, 1995, 2007 and 2014, where classes were considered: Urban Area, Rural Area, Soil Exposure and Caatinga Vegetation. In these images the indexes were calculated: EVI, SAVI, IAF and NDWI. Precipitation values were obtained for these same years. The Urban Area presented an increase in its extension from 1990 to 2014. The Rural Area showed a decrease between the years 1990 and 1995, and in 2014. Solo exposed decreased from 1995 to 2007 and increased in 2014. In the Caatinga vegetation area, vegetation indexes and precipitation presented lower values in 1990. For the second article, two areas of caatinga, one conserved and one regenerating, were selected, located in the Brazilian semi-arid region. For this article, four species were selected: *Poincianella pyramidalis*, *Croton blanchetianus*, *Myracrodruon urundeuva* and *Schinopsis brasiliensis*. Aiming to identify the responses of these plant species in the conserved and degraded areas, leaf samples of five individuals of each species were collected in each area.

These samples were processed to obtain morphoanatomic measurements, after making histological slides, and spectral reflectance using the FieldSpec® 4 ASD spectrometer. With the data obtained, statistical analyzes were performed to compare the parameters between the preserved and regenerated area for each species. The different leaf parameters analyzed show differences among the individuals of the species between the preserved and regenerated areas.

Keywords: Remote Sensing. GIS. Urbanization. NDVI. Spectroradiometry. Resilience. Architecture Leaf. Natural Regeneration.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1	Influência humana no processo de fragmentação florestal e degradação ambiental.....	16
2.2	Paisagens fragmentadas e uso de geotecnologias.....	18
2.3	Resiliência da vegetação no semiárido: respostas morfoanatômicas foliares na caatinga.....	21
2.4	Respostas espectrais associadas à estrutura física e química foliar.....	23
3	INFLUÊNCIA HUMANA E CLIMÁTICA NA CONSTRUÇÃO DA PAISAGEM NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO.....	27
3.1	Material e métodos.....	28
3.1.1	Área de estudo.....	28
3.1.2	Levantamento e aquisição de dados.....	30
3.1.3	Classificação do uso e cobertura da terra.....	30
3.1.4	Obtenção dos Índices de Vegetação.....	31
3.1.5	Obtenção dos dados de precipitação.....	33
3.2	Resultados.....	33
3.2.1	Dinâmica espaço temporal no uso e cobertura da terra.....	33
3.2.2	Dinâmica dos índices de vegetação e precipitação.....	35
3.3	Discussão.....	41
3.3.1	Influência humana e climática na construção da paisagem.....	41
3.4	Conclusão.....	44
4	PLASTICIDADE FENOTÍPICA DE ESPÉCIES VEGETAIS EM ÁREA PRESERVADA E EM REGENERAÇÃO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO.....	45
4.1	Material e métodos.....	46
4.1.1	Área de estudo.....	46
4.1.2	Obtenção e processamento dos dados.....	48
4.1.3	Análise dos dados.....	50
4.2	Resultados.....	51
4.2.1	Arquitetura morfoanatômica foliar.....	51

4.2.2	Reflectância foliar e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI).....	64
4.3	Discussão	66
4.4	Conclusão	68
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	70
	REFERÊNCIAS	71

1 INTRODUÇÃO

Atividades humanas, como as culturas agrícolas e o pastoreio, a extração seletiva de madeira, bem como as atividades ligadas à urbanização, modificam a paisagem natural dos ecossistemas gerando barreiras que podem alterar a dinâmica populacional e a manutenção das espécies que vivem nestes ambientes (PÉRICO et al., 2005; TABARELLI e GASCON, 2005; WILSON et al., 2016; RESASCO et al., 2017). De acordo com Tabarelli et al. (2004), a ampla modificação das paisagens naturais pela espécie humana propicia a ocorrência de fragmentos florestais imersos em matrizes de ambientes não florestados. Essa substituição de áreas de vegetação nativa por áreas não florestadas e ocupadas pelas atividades humanas pode acarretar diversas mudanças ambientais (PÉRICO et al., 2005; WILSON et al., 2016). Alguns autores apontam como resultados destas modificações, a elevação da temperatura (NICHOL, 1994), o aumento da evapotranspiração nos vegetais (MATLACK, 1993) e a diminuição da umidade relativa do solo (KAPOS, 1989).

Ambientes que têm suas condições edáficas e/ou climáticas alteradas, podem promover a seleção de plantas com características que lhes confirmam resiliência. Tais alterações podem ser observadas em diferentes níveis ecológicos, desde o nível de indivíduo, população, comunidade e ecossistema, podendo até mesmo modificar a paisagem. As espécies que são consideradas resilientes apresentam capacidade de se ajustar de acordo com as variações ambientais impostas pelo ecossistema, além da predisposição de se recuperar após os distúrbios (TIVY, 1993; GUNDERSON, 2000; HARRIS et al., 2014). Essa tolerância às adversidades pode ser conferida às espécies por meio de ajustes em sua estrutura morfológica e, conseqüentemente, em sua fisiologia. Nas espécies vegetais, tais ajustes podem ser evidenciados mais facilmente nas estruturas da folha, uma vez que este órgão se destaca por apresentar maior plasticidade fenotípica, o que pode ser observado através da sua arquitetura morfoanatômica que apresenta evidências de respostas às condições ambientais sob as quais ela estava imposta (FAHN e CUTLER, 1992; TAIZ e ZEIGER, 2004).

As variações observadas nos parâmetros morfoanatômicos das folhas permitem que sejam feitas inferências com relação à resiliência e susceptibilidade das espécies às novas condições impostas pelo meio. A compreensão das respostas das plantas submetidas a distintas condições ambientais pode ser realizada por meio de avaliações em escala microscópica, na arquitetura morfoanatômica das folhas, e macroscópica, nos estudos de dosséis em paisagens. Essas observações podem ser realizadas empregando-se técnicas associadas de sensoriamento remoto, que possibilitam o estudo dos dosséis, e a caracterização

através da observação de parâmetros espectrais, em nível microestrutural, além dos aspectos biofísicos da paisagem (CHAGAS et al., 2008). Utilizar técnicas de sensoriamento remoto em estudos de dossel em ambientes florestais permite uma análise multiespectral da cobertura vegetal e identificação de possíveis modificações climáticas ou humanas (COPPIN e BAUER, 1996; SANTANA et al., 2016). Através do comportamento da energia radiante refletida por folhas isoladas e pelo dossel são conhecidas as respostas das plantas no espectro eletromagnético (PONZONI, 2001). Tais resultados permitem o reconhecimento de respostas estruturais e fisiológicas da vegetação em relação a diferentes características ambientais (SIMS e GAMON, 2002).

Na paisagem brasileira, o ecossistema caatinga destaca-se por apresentar uma biota constituída por espécies com adaptações variadas às condições adversas encontradas nesse ambiente. Esse ecossistema encontra-se amplamente fragmentado, sobretudo pela constante pressão humana (LEAL et al., 2005; ALVES et al., 2009). Segundo dados fornecidos pelo Ministério do Meio Ambiente (2013), aproximadamente 80% da caatinga está submetida aos impactos decorrentes da ação humana, através da expansão agropecuária, exploração de recursos naturais e do crescimento urbano. De acordo com Alves (2009), essas atividades econômicas são comumente realizadas de modo indiscriminado, estando associadas ao desmatamento de amplas áreas de caatinga. Como resultado dessa prática não fiscalizada, há o comprometimento da manutenção das condições naturais neste ecossistema, o que dificulta ainda mais a sobrevivência das espécies vegetais, uma vez que estas agora precisam desenvolver atributos que lhes permitam permanecer nestes locais frente às novas condições que podem incluir solos erodidos, salinizados e progressivamente compactados (ALVES, 2009). Desse modo, podem ocorrer alterações bruscas no comportamento das espécies vegetais, que pode ocasionar desde modificações microscópicas nos caracteres estruturais foliares até macroscópicas, quando observa-se mudanças nas respostas espectrais do dossel da vegetação.

Diante disso, estudos como o proposto, levantam uma relevante questão concernente às modificações da paisagem da caatinga ao longo dos anos, fornecendo novos dados para este ecossistema tão fragmentado e susceptível a distúrbios, subsidiando a avaliação da extensão da interferência humana nesse ambiente. Estudos que considerem parâmetros abióticos associados a aspectos estruturais, fisiológicos e ecológicos dos vegetais em ambientes degradados são de extrema importância para a manutenção da biodiversidade no ambiente, uma vez que podem fornecer indícios com relação à resiliência das espécies vegetais nestes locais. Além disso, investigações dessa natureza revelam informações

ecológicas essenciais para o desenvolvimento de futuros planos de manejo e conservação para a caatinga e para as espécies vegetais ali estabelecidas, promovendo o conhecimento acerca da biodiversidade, e dos fatores que influenciam o estabelecimento e permanência das espécies vegetais em ambientes degradados e urbanizados. Pesquisas que consideram as variáveis biológicas das plantas associadas às variáveis climáticas em áreas com vegetação de caatinga devem ser consideradas para o melhor entendimento acerca da regeneração dos ecossistemas tropicais, mostrando-se úteis para a compreensão dos processos ecológicos e mitigação dos efeitos negativos em áreas degradadas.

Nesse sentido, este estudo teve por objetivo analisar modificações na paisagem de caatinga, semiárido brasileiro, considerando as respostas da vegetação às alterações humanas e ambientais. Visando responder a este objetivo, o primeiro capítulo desta tese buscou avaliar a dinâmica espaço temporal em uma paisagem de Caatinga no semiárido brasileiro, considerando as influências humanas e climáticas; e o segundo capítulo buscou avaliar as respostas de espécies vegetais estabelecidas em área preservada e perturbada em processo de regeneração, incluídas no bioma Caatinga no semiárido brasileiro, onde foram testadas as hipóteses: H1, há diferença na arquitetura morfoanatômica foliar de indivíduos da mesma espécie quando estabelecidos em área preservada e em regeneração; H2, há diferença na reflectância espectral de indivíduos da mesma espécie quando estabelecidos em preservada e em regeneração; H3, há diferença no NDVI de indivíduos da mesma espécie quando estabelecidos em área preservada e em regeneração.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Influência humana no processo de fragmentação florestal e degradação ambiental

Desde os primórdios de sua existência a espécie humana vem alterando as condições do ambiente onde vive visando assegurar sua sobrevivência. Com o passar dos séculos, essa constante busca por atender às suas necessidades veio sendo intensificada. O desenvolvimento da sociedade levou ao conseqüente aumento da população humana, que chegou a apresentar um crescimento exponencial observado a partir do século XVIII (PINTO-COELHO, 2007). Esse crescimento atingiu seu apogeu em meados de 1960, após a segunda revolução industrial, e perdura até a atualidade, com o número de habitantes no planeta ultrapassando os sete bilhões no ano de 2013 (ONU, 2016). Diante dessa realidade tornou-se evidente a necessidade de expansão das fronteiras humanas nas áreas urbanas e rurais, em virtude do crescimento populacional.

Para que a expansão humana se tornasse possível extensas áreas florestadas foram gradativamente transformadas, havendo a substituição e/ou degradação destas com a utilização de seus recursos para fins humanos. No entanto, segundo Cidin e Silva (2004), a pressão exercida pela população humana mundial vem afetando de modo irreversível os ecossistemas naturais, uma vez que a utilização e exploração de recursos supera a capacidade de suporte destes ambientes, além de atuar modificando a paisagem. Aproximadamente 50% da cobertura terrestre do planeta já foi submetida à impactos diretos decorrentes de ações humanas (HOOKE et al., 2012). O crescimento da população humana e todos os reflexos disto decorrentes, como o acelerado desenvolvimento das áreas urbanas e a construção de estradas, são reconhecidos como uma das principais causas de degradação dos ecossistemas naturais (FORMAN, 1995; JESUS et al., 2015). Entre as conseqüências dos impactos promovidos por tais atividades, que levam à conversão do habitat natural para usos humanos, há a ocorrência da fragmentação das florestas e habitats.

O processo de fragmentação vem sendo estudado com diferentes enfoques, que geralmente buscam respostas com relação aos efeitos deste processo nas condições ambientais dos ecossistemas (KAPOS, 1989; NICHOL, 1994; PÉRICO et al., 2005; JESUS et al., 2015; WILSON et al., 2016) e em suas conseqüências para a biota (MATLACK, 1993; VIANA e PINHEIRO, 1998; LAURANCE et al., 2001; WILSON et al., 2016; RESASCO et al., 2017), bem como o retorno disto para as comunidades humanas. O desmatamento promovido pela substituição de áreas florestadas para construção de casas, estradas, áreas urbanas,

agropecuárias e industriais, estão entre os diversos fatores causadores da fragmentação (WAKEEL et al., 2005; CAYUELA et al., 2006; HADDAD et al., 2015). Essas evidências demonstram a importância de se compreender a amplitude dos impactos promovidos por ações humanas que levam à fragmentação e degradação dos ambientes naturais. Por meio de suas diversas formas de uso da terra, as pessoas promovem a formação de fragmentos descontínuos em áreas onde antes havia a formação de florestas contínuas (VALENTE e VETTORAZZI, 2002; HADDAD et al., 2015; RESASCO et al., 2017). Esses fragmentos passam, então, a encontrar-se imersos em uma matriz com condições ambientais distintas de seu interior, apresentando-se como ilhas isoladas e desconectadas.

De acordo com Luizão (2007), a fragmentação florestal produz alterações climáticas responsáveis por distúrbios nas bacias hidrográficas, além da degradação de recursos naturais, e erosão dos solos. Entre as alterações ambientais elencadas podem ser observadas ainda mudanças nos movimentos de calor, nos ventos, no fluxo de radiação, na água e na disponibilidade de nutrientes do solo (SAUNDERS et al., 1991; LUIZÃO, 2007). Além dessas consequências ambientais, há a ocorrência do chamado efeito de borda, que revela a diferença abrupta ocorrida na interface entre os fragmentos florestais e a matriz onde estes estão imersos, uma vez que a borda desses fragmentos passa a ficar exposta à radiação solar e à ventos mais intensos (DELAMÔNICA et al., 2001). Tais mudanças ambientais, resultantes da fragmentação, afetam negativamente os processos ecológicos dos ecossistemas (ZIPPERER et al., 2012; WILSON et al., 2016), causando impactos diretos e indiretos sobre a biota (HADDAD et al., 2015; WILSON et al., 2016).

De modo imediato, os ambientes que passaram a ser fragmentados apresentam novas condições, sob as quais os organismos precisam se adequar para sobreviver. Após o desmatamento das áreas florestadas, formam-se ilhas isoladas e desconectadas que eliminam organismos vegetais e geram barreiras físicas para as espécies. Com isso, há a diminuição do número de indivíduos das populações, que reduz a variação genética, podendo ocasionar, em longo prazo, a extinção de espécies (KAGEYAMA e GANDARA, 1998; DELAMÔNICA et al., 2001). Somado a estes fatos, processos ecológicos como a polinização, a ciclagem de nutrientes, a dispersão de sementes e as relações entre as espécies são afetados, acarretando a perda de diversidade biológica (PÉRICO e CEMIN, 2006; YU et al. 2015). Para as espécies vegetais as alterações supracitadas, que prejudicam a polinização e dispersão de sementes, principalmente, alteram a taxa de recrutamento de plântulas, modificando assim o balanço entre as taxas de natalidade e mortalidade (KAGEYAMA e GANDARA, 1998; DELAMÔNICA et al., 2001). Havendo o aumento na taxa de mortalidade das espécies

vegetais ocorre o declínio de algumas populações de plantas, favorecendo o estabelecimento de espécies colonizadoras e exóticas (DELAMÔNICA et al., 2001). Ao se analisar tais mudanças nota-se a influência exercida pela área que circunda os fragmentos na dinâmica e estrutura das populações e comunidades estabelecidas em seu interior. Diante disso, vê-se a importância de se desenvolver estudos que visem avaliar a influência humana, bem como suas consequências para os fragmentos florestais e matriz circundante, como os estudos em escala de paisagem.

2.2 Paisagens fragmentadas e uso de geotecnologias

Uma paisagem pode ser entendida como um recorte heterogêneo da realidade, que foi historicamente construído, sendo passível de ser compreendida e interpretada pelo observador (LUI e MOLINA, 2009). Essa definição permite a associação de fatores físicos, ambientais e socioculturais na construção das paisagens, considerando a relação entre as pessoas e o ambiente. A escala de observação de paisagem é considerada como a primeira instância em que a interação entre as pessoas e o ambiente pode ser bem avaliada, pelo fato dos efeitos das ações humanas no ambiente natural tornarem-se visíveis (BÜRGI et al., 2004). Por esse motivo, diversas áreas científicas se interessaram em desenvolver estudos desta temática, visando compreender a relação entre as pessoas e o ambiente ao longo do tempo. Nos estudos de paisagem, para cada área do conhecimento que utiliza essa escala de observação, diversos fatores podem ser incluídos em sua interpretação e compreensão, como fatores ecológicos, estéticos, culturais e até mesmo políticos (POLETTE, 1999). Essa ampla gama de fatores torna os estudos de paisagem interdisciplinares e muitas vezes complexos.

Entre as linhas de pesquisa que desenvolvem estudos em escala de paisagem, está a Ecologia da Paisagem. Essa linha de pesquisa surgiu em meados do século XX, desenvolvendo-se inicialmente na Alemanha e Holanda, e buscou a promoção de pesquisas que envolvessem o ser humano e a sociedade juntamente com o ambiente físico natural (NUCCI, 2007). Pesquisadores da geografia e da ecologia começaram a abordar em seus estudos a relação entre as pessoas, considerando suas práticas socioeconômicas e culturais, e as paisagens construídas, ou não, por elas (VITTE, 2007), desenvolvendo a Ecologia da Paisagem de modo interdisciplinar. De acordo com Turner (2005), a Ecologia da Paisagem pode ser definida como o estudo da interação entre os processos ecológicos e os padrões espaciais, considerando um dado recorte ao longo do tempo. Essa definição permite-nos reconhecer a relevância de tais estudos para a atual situação global, uma vez que, a partir de

análises dessa temática podem ser identificados padrões que permitirão predições futuras a respeito não somente de áreas pontuais, mas de dimensões até mesmo globais. Para tanto, é importante que se considere a avaliação de três características básicas, que incluem a estrutura, a função e as mudanças da paisagem (FORMAN e GODRON, 1986; TURNER e GARDNER, 1991). Segundo Olsen et al. (2007), as principais forças que dirigem tais características são as mudanças no uso e cobertura da terra promovidas pelos humanos.

De acordo com Casas et al. (1997), a configuração atual de diversas regiões do mundo é resultado das modificações decorrentes do processo de domesticação, que vem sendo realizado a milhares de anos por grupos humanos. No processo de domesticação, por meio da interação entre as pessoas e o ambiente, as paisagens vão sendo construídas ao longo do tempo de acordo com as necessidades humanas (CASAS et al., 1997; CLEMENT, 2001, CLEMENT et al., 2015). Desse modo, florestas contínuas são alteradas de modo que as áreas florestadas são transformadas em conjuntos de pequenas ilhas imersas em áreas que passaram a ser desmatadas, utilizadas para diversos fins humanos (VALENTE e VETTORAZZI, 2002; FERNANDEZ, 2004). Essas ações que modificam a cobertura da terra são resultantes, principalmente, da expansão urbana, agrícola e industrial promovida pelo crescimento da população humana, e ocasionam a fragmentação das paisagens naturais. Assim como a fragmentação de habitats e florestas tem sérios impactos sobre as condições bióticas e abióticas dos ecossistemas, de igual modo o processo de fragmentação das paisagens também produz tais impactos. De acordo com Zipperer et al. (2012), a fragmentação das paisagens afeta a biodiversidade, degrada os solos e interfere nos serviços ecossistêmicos. Diante dessa realidade as paisagens fragmentadas pela ação humana constituem um excelente objeto de estudo para pesquisas que visam compreender os padrões de mudança da paisagem em sua dimensão espacial e temporal.

O uso de geotecnologias, como o sistema de informações geográficas (SIG) e o sensoriamento remoto, tem se mostrado eficaz na compreensão de diversos aspectos relacionados aos padrões de mudança espaço-temporal da paisagem. A utilização dessas ferramentas possibilita a análise qualitativa e quantitativa da paisagem (FORMAN, 1995; SANTANA et al., 2016), agregando informações essenciais para estudos de monitoramento e predição de condições futuras das paisagens. As ferramentas de SIG, por exemplo, possibilitam análises complexas da composição e configuração das paisagens, permitindo o cruzamento de diversas variáveis (FARINA, 2006; COLLIER et al., 2015). Nos estudos de sensoriamento remoto, são obtidas medidas acuradas de parâmetros climáticos e da vegetação, por meio de índices calculados a partir da captação da energia refletida ou emitida pelos

objetos dispostos na superfície terrestre (FLORENZANO, 2002). Entre os índices calculados para estudos de avaliação de mudanças na vegetação, estão o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN) (*Normalized Difference Vegetation Index – NDVI*) (ROUSE et al., 1973; JENSEN, 1996), o Índice de Água com Diferença Normalizada – IADN, também chamado de Índice de Umidade (*Normalized Difference Water Index – NDWI*) (GAO, 1996), o Índice de Vegetação Ajustado (IVA) (*Enhanced Vegetation Index - EVI*) (HUETE et al., 1997), o Índice de Vegetação Ajustado ao solo (IVAS) (*Soil Adjusted Vegetation Index – SAVI*) (HUETE, 1988), o Índice de Área Foliar (IAF) (*Leaf Area Index - LAI*) (ALLEN et al., 2002), entre outros. Todos esses índices tem se mostrado úteis na avaliação de mudanças espaço temporais nas paisagens (e.g. JUSTICE et al., 1998; DIJK e BRUIJNZEEL, 2001; ZHANG et al., 2003; HABOUDANE et al., 2004; OLIVEIRA et al., 2010; FRANÇA et al., 2013; SANTANA et al., 2016), sendo utilizados para refinados estudos de monitoramento e previsão de condições futuras destas (DIOUF e LAMBIN, 2001; SHALABY e TATEISHI, 2007; XIAN et al., 2009).

O NDVI foi um dos primeiros índices de vegetação desenvolvidos, sendo amplamente utilizado até a atualidade para o monitoramento de áreas de vegetação (e.g. ROUSE et al., 1973; JENSEN, 1996; DU et al., 2010; SHANG et al., 2015; YANG et al. 2017). O NDWI permite a estimativa do conteúdo de água das plantas, tornando-se uma ferramenta útil em ambientes onde há escassez hídrica, como as regiões semiáridas (OLIVEIRA et al., 2010; FRANÇA et al., 2013). O EVI fornece informações valiosas sobre o vigor da vegetação, sendo influenciado pela fenologia das espécies e pelo regime pluviométrico (FORMIGONI et al., 2011). Esse índice também minimiza a influência do substrato em locais onde a vegetação é esparsa (JUSTICE et al., 1998; HUETE et al., 2002), o que é importante para estudos realizados em ambientes áridos e semiáridos como a caatinga. Seguindo esta linha, o SAVI foi desenvolvido no intuito de minimizar os efeitos da reflectância do solo em locais onde a vegetação é menos densa, incorporando um fator de ajuste dependente da densidade de vegetação (GILABERT et al, 2002; EASTMAN, 2006). Este índice inclui um fator de correção para minimizar os efeitos do brilho refletido pelo solo, e vem sendo utilizado especialmente em locais onde a vegetação é esparsa (HABOUDANE et al., 2004). O IAF permite considerações relacionadas à parâmetros estruturais na cobertura vegetal de uma dada área (DIJK e BRUIJNZEEL, 2001).

Os índices supracitados são indicadores eficazes do crescimento e vigor da vegetação (PONZONI, 2001), e permitem análises em escala macroscópica, realizada a partir do dossel da vegetação, e microscópica, uma vez que chegam a traduzir a energia refletida até mesmo

pelas células vegetais. Desse modo, podem ser conhecidas as mudanças ocorridas na paisagem como um todo e os fatores que as ocasionaram, que podem incluir alterações humanas e ambientais. Além disso, podem ser estudadas respostas da vegetação a tais alterações. Avaliando o modo como a energia é refletida pelas estruturas vegetais, pode-se conhecer a resiliência das plantas em situações de degradação ambiental. O estudo dessas respostas pode fornecer informações relevantes para o monitoramento e diagnóstico ambiental das paisagens.

2.3 Resiliência da vegetação no semiárido: respostas morfoanatômicas foliares

Ao longo da história evolutiva, as espécies vegetais foram desenvolvendo adaptações que lhes permitiram sobreviver e perpetuar sob as mais diversas condições ambientais do planeta. Em cada ecossistema, e até mesmo em cada recorte dentro destes, podem ser identificadas estruturas morfológicas e anatômicas nos vegetais que visam conceder às espécies a sobrevivência frente às condições ambientais locais (RAVEN et al., 2014). Nos ecossistemas áridos e semiáridos, que recobrem aproximadamente 30% da superfície terrestre (SIVAKUMAR et al., 2005), as espécies vegetais têm que desenvolver estratégias que lhes permitam sobreviver frente à escassez hídrica, intensa incidência luminosa e elevada amplitude térmica, típica destes ambientes. Sendo assim, geralmente são encontradas nesses ambientes espécies que possuem maior capacidade de retenção hídrica, de redução da perda de água, com a redução da área foliar e formação de espinhos, entre outras (RAVEN et al., 2014).

No Brasil, o bioma semiárido Caatinga caracteriza-se por apresentar baixa precipitação, com extensos períodos de seca, e solos com baixa capacidade de retenção hídrica (PRADO, 2003). Esse bioma é exclusivamente brasileiro e apresenta-se como um mosaico de florestas sazonalmente secas que se estende ao longo de 750.000km² (ALVES et al., 2009). Sua área de abrangência inclui os Estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e Minas Gerais (LEAL et al., 2005). Além das características ambientais adversas, a Caatinga encontra-se amplamente fragmentado, sobretudo devido à constante pressão humana (CASTELLETTI et al., 2003; ALVES et al., 2009). Aproximadamente 80% da Caatinga apresenta-se impactada pela expansão agropecuária, exploração de recursos naturais e pelo crescimento urbano (MMA, 2013). Sua biota característica apresenta diversas espécies endêmicas, com adaptações singulares às condições adversas encontradas nesse ambiente, como a elevada luminosidade e baixa

precipitação (MMA, 2002). A vegetação típica da Caatinga compreende espécies lenhosas com espinhos, além de espécies de bromélias e cactáceas (PRADO, 2003). Essas espécies vegetais apresentam caracteres de resiliência, ou seja, caracteres de resposta às condições locais, que visam garantir sua sobrevivência.

Espécies consideradas resilientes são capazes de se ajustar às variações ambientais impostas pelo ecossistema, recuperando-se após distúrbios (TIVY, 1993; GUNDERSON, 2000; BERNHARDT-ROMERMANN et al., 2011; HARRIS et al., 2014). Essa resiliência pode ser conferida às espécies por meio de ajustes em sua arquitetura morfoanatômica e, conseqüentemente, em sua fisiologia. Nas espécies vegetais, tais ajustes podem ser evidenciados mais facilmente nas estruturas foliares, uma vez que este órgão se destaca por apresentar maior plasticidade fenotípica (FAHN e CUTLER, 1992; TAIZ e ZEIGER, 2004). As variações na arquitetura morfoanatômica foliar, apresentam evidências de respostas às condições ambientais sob as quais ela estava imposta (FAHN e CUTLER, 1992; TAIZ e ZEIGER, 2004). Por meio do estudo dos parâmetros morfoanatômicos das folhas, podem ser feitas inferências com relação à resiliência das espécies às novas condições impostas pelo meio.

Quando submetidos à elevada intensidade luminosa e temperatura, os vegetais geralmente desenvolvem caracteres de resiliência nas folhas, visando minimizar a excessiva perda de água (COSTA et al., 2011; KUSTER et al., 2011; REALPE-GOMEZ et al., 2013). Entre os caracteres de resiliência mostrados na morfoanatomia podem ser citados espessamento da cutícula e do parênquima paliçádico, com conseqüente espessamento da lâmina foliar (FAHMY, 1997; HANBA et al., 2002). Além disso, a elevação da intensidade luminosa pode levar ao aumento na densidade estomática e de tricomas nas folhas (FAHMY, 1997). Outro importante caractere que tende a se modificar em função da disponibilidade hídrica é o tamanho dos estômatos (BOEGER e WISNIEWSKI, 2003; KUSTER et al., 2011). Folhas com estômatos menores, contendo poros estomáticos de tamanhos pequenos, apresentam maior eficiência no uso da água, evitando assim a perda de água excessiva por transpiração (BOEGER e WISNIEWSKI, 2003). As paredes anticlinais da epiderme também podem ser indicadas como caracteres de resiliência. Meirelles et al. (1997) apontam que plantas expostas à elevada luminosidade e baixa disponibilidade hídrica geralmente apresentam paredes anticlinais sinuosas, evitando assim a ruptura destas células. Estudos indicam ainda que a presença de cristais nas folhas de vegetais também reduz os efeitos da elevada incidência luminosa, uma vez que estas estruturas refletem parte da energia radiante (FAHN e CUTLER 1992; SIMS e GAMON, 2002; ARRUDA et al., 2005).

Todas essas características foliares apontam estratégias de resposta utilizadas pelos vegetais que visam garantir sua permanência e sobrevivência frente às variações impostas pelo ambiente. Areladas às modificações morfoanatômicas e fisiológica dos vegetais estão as alterações espectrais. Ao modificar a estrutura física e química foliar, os vegetais alteram o modo como a energia radiante é refletida, transmitida e absorvida por este órgão. Essas mudanças são importantes indicativos de respostas da vegetação às condições ambientais, sendo mais uma ferramenta em potencial para investigações sobre resiliência.

2.4 Respostas espectrais associadas à estrutura física e química foliar

A radiação incidente sobre a superfície foliar pode ser transmitida, absorvida ou refletida, a depender das características físicas, químicas e fisiológicas deste órgão. O conhecimento destas características foliares, bem como do comportamento espectral, proporcionam a compreensão das respostas dos vegetais às condições de degradação e estresse ambiental (e.g. JACKSON, 1986; BALTZER e THOMAS, 2005; FERET et al., 2008; MACHADO et al., 2015). Investigações nesse sentido tiveram início ainda no final do século XIX, e foram se intensificando por volta da década de 1960, com o maior desenvolvimento do sensoriamento remoto (CARTER e KNAPP, 2001). A avaliação remota permitiu a mensuração da quantidade de radiação refletida pelos objetos dispostos na superfície terrestre. Após essa facilitação, podendo-se obter dados de reflectância de forma remota, a maior parte das pesquisas passaram a abordar a reflectância foliar para avaliação das respostas espectrais, utilizando de modo menos frequente a transmitância e a absorbância (CARTER e KNAPP, 2001). Diante disso, diversos estudos tem avaliado o comportamento da energia incidente sobre a superfície foliar tanto em metodologias que avaliam a reflectancia em nível de dossel (e.g. HABOUDANE et al., 2004; FRANÇA et al., 2013; SHANG et al., 2015; SANTANA et al., 2016; YANG et al. 2017), como em folhas individuais (e.g. BALTZER e THOMAS, 2005; GALVÍNCIO et al., 2011; GALVÍNCIO e PIMENTEL, 2012; GOMES et al., 2016; SCHRODER et al. 2015; ROTH, 2016).

Em escala mais ampla, em nível de dossel, são utilizados índices multiespectrais que permitem que sejam obtidas medidas de reflectância em diferentes regiões espectrais, como a região do infravermelho, infravermelho próximo e visível (CHAERLE e VAN DER STRAETEN, 2000). Em medidas diretas no órgão foliar, podem ser realizadas mensurações com maior acurácia, em escala hiperespectral, onde são obtidos dados em bandas espectrais estreitas, com escala de dezenas de nanômetros (CHAERLE e VAN DER STRAETEN,

2000). Esse refinamento de dados possibilita a detecção de assinaturas espectrais específicas para espécies vegetais e permite diversas inferências com relação ao estado fisiológico dos vegetais (CARTER e KNAPP, 2001; BALTZER e THOMAS, 2005; GALVINCIO e PIMENTEL, 2012). Os dados provenientes dessas mensurações são relevantes fontes de informação para se avaliar o estado fisiológico dos vegetais sob condições naturais ou de estresse ambiental, uma vez que podem ser identificadas faixas do espectro eletromagnético onde ocorrem maior ou menor reflectância de acordo com a estrutura e composição química das folhas (JACQUEMOUD e BARET, 1990; CARTER, 1991; CARTER, 1993; CARTER e MILLER, 1994; CARTER e KNAPP, 2001).

A influência das características estruturais da folha na reflectância da radiação vem sendo estudada desde o início do século XX, por Willstatter e Stoll, em 1913 (KNIPLING, 1970). De acordo com Knipling (1970), já nesta época esses pesquisadores reconheceram a influência da estrutura interna foliar no mecanismo de reflexão da radiação. Décadas mais tarde, Gates et al. (1965) publicaram um trabalho sobre as propriedades espectrais das plantas que enfatizou a relevância de características como os espaços intercelulares, e presença de pigmentos e água nos cloroplastos na interação entre a radiação e a folha. Nesta mesma época, pesquisadores realizaram uma compilação de trabalhos russos sobre dados de reflectância espectral, registrando diferenças na resposta espectral de folhas de sol e de sombra, em virtude de suas distintas estruturas anatômicas (STEINER e GUTERMANN, 1966). Anos mais tarde, Middleton et al. (1998) identificaram que as superfícies foliares adaxial e abaxial também apresentam respostas espectrais distintas. Todos os trabalhos realizados nesse sentido forneceram embasamento para pesquisas mais recentes sobre a interação entre a estrutura anatômica foliar e a radiação. Sabe-se atualmente que as características foliares que irão influenciar a absorvância, transmitância e reflectância da radiação incluem caracteres anatômicos, como a espessura da folha, cutícula e mesofilo, além da presença de pigmentos e outros compostos químicos, como clorofilas, antocianinas, carotenoides, fenóis, proteínas, lignina e celulose, bem como características fisiológicas como o teor de água e eficiência fotossintética (MOHAMED et al., 2000).

Na estrutura foliar dos vegetais, a cutícula que recobre a epiderme, geralmente transparente, faz com que apenas uma pequena parte da energia radiante incidente sobre superfície foliar seja diretamente refletida, sendo a maior parte difundida por ela e pela epiderme, chegando até as células e cavidades mesofílicas (KNIPLING, 1970). No entanto, a elevação da incidência luminosa pode levar os vegetais a aumentar sua espessura cuticular para protegê-los dos efeitos danosos da irradiação direta, resultando em alterações nos valores

de reflectância (BALTZER e THOMAS, 2005). Ao atingir a região mesofílica, parte da radiação que não foi refletida será absorvida para realização das atividades vitais dos vegetais, e outra parte espalha-se para baixo, sendo transmitida (KNIPLING, 1970). No mesofilo, um dos parâmetros mais importantes na determinação da reflectância é a área total das interfaces entre as paredes celulares e o ar, não o volume total de espaço preenchido pelo ar (KNIPLING, 1970). Essa relação entre o espectro de reflectância e o mesofilo foi documentada por Ourcival et al. (1999). Em sua pesquisa com *Quercus ilex*, estes pesquisadores identificaram forte correlação do mesofilo e espessura do parênquima paliçádico com o espectro de reflectância. Knapp e Carter (1998) observaram a relação entre a espessura foliar e a reflectância na região do infravermelho próximo do espectro. Para a região do infravermelho de onda curta, Ceccato et al. (2001) identificaram a estrutura interna e da matéria seca entre os parâmetros responsáveis pelas variações nos valores de reflectância foliar. Na região visível do espectro, a reflectância foliar é baixa, em virtude da absorção realizada pelos pigmentos fotossintéticos encontrados nas células do parênquima clorofiliano presente no mesofilo (PENUELAS e FILELLA, 1998).

A estrutura bioquímica e fisiológica dos vegetais produzem respostas espectrais observadas principalmente na faixa visível do espectro eletromagnético. Esta faixa apresenta elevada absorção de radiação, em virtude da presença de pigmentos foliares como a clorofila, os carotenos, as xantofilas e as antocianinas (GATES et al., 1965). Uma alternativa para a detecção da composição desses pigmentos na folha é a utilização de medidas de reflectância foliar (PENUELAS e FILELLA, 1998). Segundo Penuelas e Filella (1998), utilizando valores de reflectância nos comprimentos de 675 nm e a 550 nm dentro do espectro, pode-se derivar a concentração de clorofila presente nos vegetais. De acordo com esses autores, a sensibilidade de reflectância é maior no comprimento de 550 nm quando a concentração de clorofila é de média a elevada, enquanto baixas concentrações desse pigmento mostram maior sensibilidade no comprimento de 675 nm. Chaerle e Van Der Straeten (2001) relatam que as xantofilas, que são responsáveis pela mediação da dissipação térmica da energia absorvida pela clorofila, podem ser quantificadas a partir do comprimento de onda 531 nm. Essas alterações na reflectância de comprimentos de onda na faixa visível mostram respostas dos vegetais à condições de estresse, como resultado da sensibilidade de clorofila aos distúrbios metabólicos (KNIPLING, 1970). Além disso, tais alterações possibilitam a detecção do estado nutricional, da fenologia e da eficiência fotossintética dos vegetais sob tais condições estressantes (PENUELAS e FILELLA, 1998).

Um agente estressor, como o estresse hídrico, a elevada incidência luminosa, o aumento de temperatura, a poluição atmosférica, a deficiência de nutrientes, a toxicidade ou mesmo as doenças, pode promover alterações no teor de clorofila foliar, resultando em modificações nos valores de reflectância (LARCHER, 1995; LARCHER, 2004). Outros fatores importantes a serem considerados nos estudos sobre as respostas foliares espectrais ao estresse são a disponibilidade de nutrientes do solo, em especial do nitrogênio, que está associado ao teor de clorofila (JOHNSON et al., 1997), e o conteúdo de água (PENUELAS e FILELLA, 1998; MACHADO et al., 2015). Carter (1993) realizou um estudo buscando avaliar as respostas espectrais foliares a diferentes agentes estressores, como a competição, patógenos, herbicidas, desidratação, entre outros. Nesta pesquisa, Carter (1993) identificou que, independentemente do agente estressor, a reflectância visível aumentou, de modo considerável, em especial quanto aos comprimentos de onda 550 nm, dentro do espectro verde, e 710 nm, no espectro vermelho. Para o agente de desidratação, este autor observou diferenças dentro do espectro amarelo, no comprimento de 584 nm, e no espectro infravermelho, nos comprimentos de 1.400 nm, 1.900 nm, 2.000 nm e 2.400 nm. Em outro estudo, Carter e Knapp (2001) registram que as respostas espectrais foliares próximas do comprimento de 700 nm são imprescindíveis para a detecção de estresse nas plantas, fornecendo, inclusive, estimativas da concentração de clorofila nas folhas. Essas pesquisas trazem informações que revelam o potencial da utilização de dados espectrais para detecção de respostas da vegetação às mudanças ambientais, assim como para a detecção de mudanças ambientais a partir de respostas foliares.

3 INFLUÊNCIA HUMANA E CLIMÁTICA NA CONSTRUÇÃO DE UMA PAISAGEM NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

As paisagens distribuídas no planeta são construídas ao longo do tempo por meio da interação entre diversos fatores climáticos e influências humanas. Estimativas recentes calculam que, aproximadamente, 50% da cobertura terrestre do planeta foi submetida a impactos resultantes da interação entre as pessoas e o ambiente (HOOKE et al., 2012). De acordo com Casas et al. (1997), a configuração atual da paisagem em diversas regiões do mundo é resultado das modificações decorrentes do processo de domesticação, que vem sendo realizado a milhares de anos por grupos humanos. No processo de domesticação, as paisagens são construídas por meio da interação entre as pessoas e o ambiente, sendo manipuladas e moldadas ao longo do tempo de acordo com as necessidades humanas (CLEMENT et al., 2015).

Durante a trajetória humana no planeta, uma das modificações diretas mais evidentes nas paisagens realizadas até hoje é a substituição de áreas florestadas por áreas não florestadas. Essa substituição causa impactos imediatos sobre a vegetação e pode prejudicar de modo irreversível os processos ecológicos do ecossistema (ZIPPERER et al., 2012). Além disso, tais mudanças podem trazer diversos prejuízos à qualidade de vida das pessoas, uma vez que se reconhece que a substituição de áreas florestadas por áreas impermeabilizadas pode influenciar fenômenos como enchentes ou alagamentos, além da formação de ilhas de calor em áreas urbanas (CHEN et al., 2006; SHAMS et al., 2009). Todas essas mudanças podem acelerar processos naturais e promover alterações climáticas em nível local, regional, e até mesmo global, sendo necessários estudos para avaliar suas consequências.

Diversos aspectos relacionados aos padrões de mudança espaço temporal da paisagem têm sido melhor compreendidos através do uso de geotecnologias, como o sensoriamento remoto integrado à Sistema de Informações Geográficas (SIG) (e.g. MONZÓN-ALVARADO et al., 2012; WILLKOMM et al., 2016). Nestes estudos são obtidas medidas acuradas de parâmetros climáticos e da vegetação através de índices calculados a partir da captação da energia refletida pelos objetos dispostos na superfície terrestre.

Os índices de vegetação, como o Índice de Vegetação Ajustado (EVI), Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI), Índice de Área Foliar (IAF) e o Índice de Umidade (NDWI), têm se mostrado relevantes para avaliação de mudanças climáticas e espaço temporais nas paisagens (e.g. JUSTICE et al., 1998; SANTANA et al., 2016). A utilização desses índices possibilita uma análise qualitativa e quantitativa da paisagem, agregando

informações essenciais para estudos de monitoramento e predição de suas condições futuras. Investigações dessa natureza auxiliam no desenvolvimento de planos de manejo e conservação de ecossistemas susceptíveis à problemas ambientais decorrentes de alterações climáticas e ações humanas.

Em regiões semiáridas, como a área de vegetação de Caatinga no Brasil, ocorrem espécies endêmicas com adaptações singulares às condições adversas encontradas no ambiente, como a elevada luminosidade e baixa precipitação (MMA 2002). Aproximadamente 80% deste bioma foi impactado pela expansão agropecuária, exploração de recursos naturais e crescimento urbano (MMA 2013). No entanto, as modificações na cobertura vegetal da paisagem de caatinga também são influenciadas por fenômenos climáticos, que ocasionam mudanças na precipitação e na reflectância da luz. Esta realidade desperta o interesse de pesquisadores na realização de estudos voltados para a compreensão da sua dinâmica, uma vez que tais modificações podem ser um resultado, tanto de ações humanas diretas, como da variação interanual da cobertura vegetal, em função das mudanças climáticas. Diante do exposto, este estudo objetivou avaliar a dinâmica espaço temporal em uma paisagem de Caatinga no semiárido brasileiro, considerando as influências humanas e climáticas.

3.1 Material e Métodos

3.1.1 Área de estudo

A paisagem selecionada para o estudo está inserida no semiárido brasileiro, e tem como vegetação típica predominante a caatinga. O bioma Caatinga apresenta-se como um mosaico de florestas sazonalmente secas que se estende ao longo de 735.000 km² (LEAL et al., 2005). Sua área de abrangência inclui os Estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e Minas Gerais (LEAL et al., 2005). A vegetação típica de caatinga compreende espécies lenhosas com espinhos, além de espécies de bromélias e cactáceas (PRADO, 2003), geralmente distribuídas de modo esparso.

O recorte da paisagem selecionado corresponde ao município Caruaru, que está situado entre as coordenadas 8°14'19''S e 35°55'17''W, no Agreste de Pernambuco, Nordeste do Brasil (Figura 1). O clima da região é do tipo semiárido, com precipitação média anual de 484 mm (SARA, 2015).

A cidade de Caruaru ocupa uma área de 920,611 km², com uma população aproximada de 314.912 habitantes (IBGE, 2010). Historicamente, Caruaru começou a se formar em 1681,

quando o então governador de Pernambuco Aires de Souza de Castro fez uma concessão de terras à família Rodrigues de Sá para o desenvolvimento de atividades agropecuárias. A sesmaria concedida pelo governador possuía aproximadamente 12 hectares, e foi denominada de Fazenda Caruaru (IBGE, 2013). Por volta de 1776, um dos descendentes da família Rodrigues de Sá, José Rodrigues de Jesus, retornou à fazenda que estava abandonada (IBGE, 2013). Alguns anos mais tarde foi construída uma capela na fazenda, dedicada a Nossa Senhora da Conceição, que aos poucos foi sendo rodeada por um povoado. Finalmente, em 1857, o então povoado de Caruaru foi promovido à cidade, tornando-se uma das primeiras cidades do Agreste pernambucano (IBGE, 2013).

Caruaru é considerado um importante polo econômico e cultural para o nordeste brasileiro. Segundo a Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura (UNESCO, 2014), o Alto do Moura é considerado o maior centro de artes figurativas da América Latina. As principais fontes de renda para a zona urbana são o comércio, a indústria e o turismo (MESQUITA e ANDRADE, 2006), e na zona rural são desenvolvidas atividades ligadas à agropecuária.

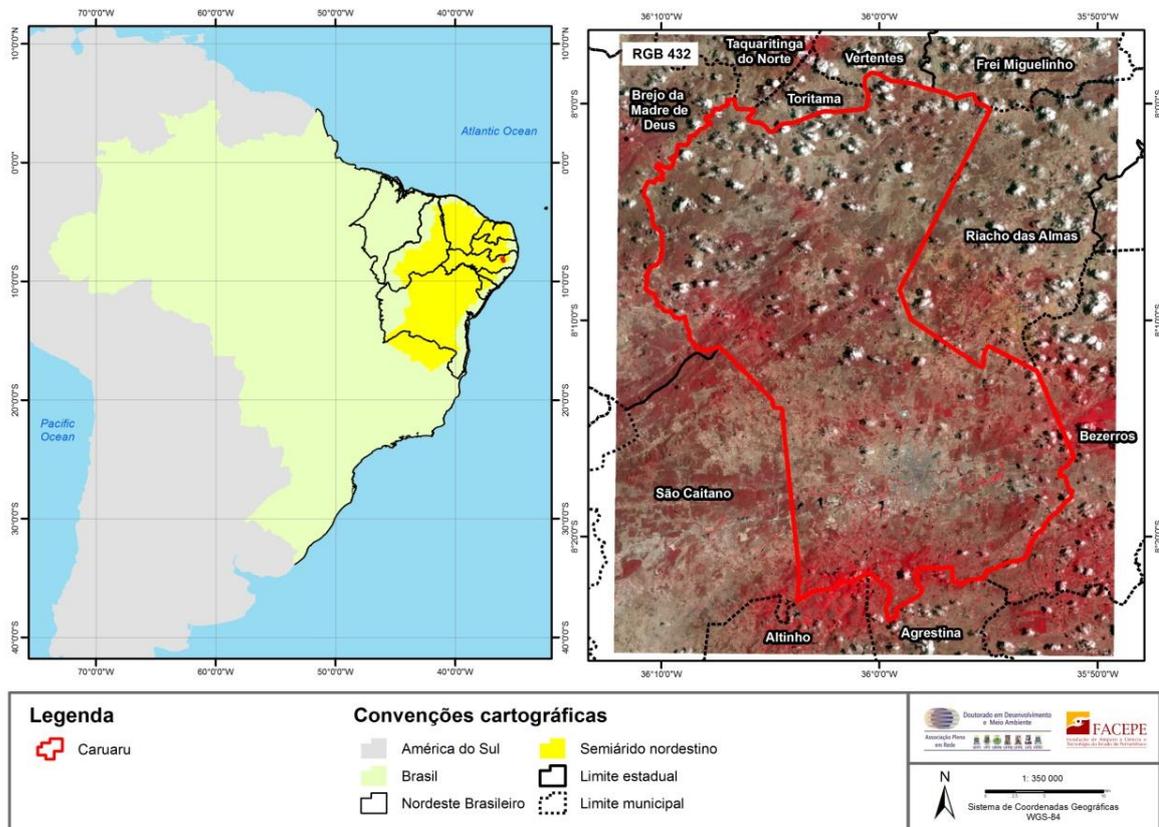


Figura 1 - Localização da área de estudo no Brasil e detalhe da paisagem do município de Caruaru, Pernambuco, Nordeste do Brasil.

3.1.2 Levantamento e aquisição de dados

Para analisar a dinâmica espaço-temporal da paisagem no intervalo de tempo definido para o estudo, foi realizada a seleção e aquisição de quatro imagens de satélite, com base na disponibilidade de imagens com menor cobertura de nuvens para a área em estudo. Estas imagens são datadas de 23 de março de 1990, 22 de abril de 1995 e 07 de abril de 2007, no sensor *TM (Thematic Mapper)*, a bordo do satélite *LANDSAT-5* e, a mais recente, de 26 de abril de 2014 no sensor *OLI (Operational Land Imager)*, a bordo do satélite *LANDSAT-8*. A obtenção de uma imagem de outro sensor e satélite, o *LANDSAT-8*, se deu devido ao satélite *LANDSAT-5* ter apresentado falhas e ter parado de realizar imageamento a partir de 2012. As imagens da órbita e ponto 214/66, apresentam resolução espacial de 30 metros nas faixas do visível (azul, verde e vermelho), infravermelho próximo e infravermelho médio. Essas imagens são disponibilizadas gratuitamente pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), e pela United State Geological Survey (USGS).

Com as imagens obtidas foi realizada a classificação do uso e cobertura da terra na área de estudo, além da obtenção dos índices de vegetação.

3.1.3 Classificação do uso e cobertura da terra

Para analisar as mudanças espaciais e temporais e identificar a influência humana na distribuição geral dos tipos de uso e cobertura da terra, foi realizada uma classificação não supervisionada nas imagens obtidas. Como classificador foi utilizado o algoritmo ISODATA, onde os pixels são analisados de forma isolada, sendo agrupados de acordo com os intervalos de níveis de cinza aproximados (JENSEN, 1996). Nesta classificação foram delimitadas quatro classes principais: Área Urbana, que inclui o núcleo urbano de Caruaru com suas áreas construídas; Área Rural, locais com ausência de elementos urbanos, com predominância de vegetação rasteira; Solo exposto, área com predominância de solo exposto; e Vegetação de Caatinga, área com predominância de vegetação de caatinga.

As imagens utilizadas para a classificação não supervisionada foram as de reflectância na composição RGB 432 e 543 para os satélites *LANDSAT-5* e *LANDSAT-8*, respectivamente. Após a classificação, foram gerados os mapas na plataforma ESRI do software ArcGIS, na versão 9.3.

3.1.4 Obtenção dos Índices de Vegetação

Para analisar a dinâmica da cobertura vegetal na paisagem estudada em função da radiação, foram utilizados o Índice de Vegetação Ajustado (IVA) (*EVI – Enhanced Vegetation Index*), o Índice de Vegetação Ajustado ao solo (IVAS) (*SAVI - Soil Adjusted Vegetation Index*), o Índice de Área Foliar (IAF) (*LAI – Leaf Area Index*) e o Índice de Umidade (*NDWI - Normalized Difference Water Index*). Para o cálculo desses índices, inicialmente foram obtidas a radiância e reflectância espectral nas imagens *LANDSAT*. A radiância representa a energia solar refletida por cada pixel, por unidade de área, de tempo, de ângulo sólido e de comprimento de onda, medida em nível do satélite nas bandas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7, com aplicação da equação proposta por Markham e Baker (1987):

$$L_{\lambda i} = a_i + \frac{b_i - a_i}{255} ND$$

Onde: a representa a radiância espectral mínima, b a radiância espectral máxima, ND a intensidade do pixel, e i representa as bandas do satélite *LANDSAT-5*.

Para a imagem do *LANDSAT-8* foi utilizada a equação proposta pela USGS (2017):

$$L_{\lambda} = M_L Q_{cal} + A_L$$

Onde: L_{λ} = radiância espectral no topo da atmosfera (Watts/(m²sradµm)), M_L = fator de reescalonamento multiplicativo específico da banda a partir dos metadados (*RADIANCE_MULT_BAND_x*, onde x é o número da banda), Q_{cal} = padrão de valores de pixel quantificados e calibrados e A_L = fator de reescalonamento aditivo específico de banda a partir dos metadados (*RADIANCE_ADD_BAND_x*, onde x é o número da banda).

A reflectância espectral é a razão entre o fluxo de radiação refletida pela superfície e o fluxo de radiação global incidente, calculada por meio da equação proposta por Allen et al. (2002):

$$\rho_{\lambda i} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda i}}{K_{\lambda i} \cdot \cos Z \cdot d_r}$$

Onde: $L_{\lambda i}$ representa a radiância espectral de cada banda i do satélite *LANDSAT-5*, $K_{\lambda i}$ representa a irradiância espectral de cada banda i no topo da atmosfera, Z é o ângulo

zenital solar, e d_r é o quadrado da razão entre a distância média Terra-Sol (r_0) e a distância Terra-Sol (r) em um determinado dia do ano.

Para a imagem do *LANDSAT-8* o cálculo da reflectância foi realizado por meio equação desenvolvida pela USGS (2017):

$$\rho\lambda' = M_p Q_{cal} + A_p$$

Onde: $\rho\lambda'$ = radiância spectral no topo da atmosfera, sem correção do ângulo solar, M_p = fator de reescalonamento multiplicativo específico para cada banda a partir dos metadados específicos (*RADIANCE_MULT_BAND_x*, onde x é o número da banda), Q_{cal} = padrão de valores de pixel quantificados e calibrados e A_L = fator de reescalonamento aditivo específico de banda a partir dos metadados (*RADIANCE_ADD_BAND_x*, onde x é o número da banda).

Após o cálculo de radiância e reflectância espectral, foi utilizada para o cálculo do EVI a equação proposta por Huete et al. (1997):

$$EVI = G \frac{\rho_{IVP} - \rho_{Ver}}{L + \rho_{IVP} + C_1 \rho_{Ver} + C_2 \rho_{azul}}$$

Onde: G representa o fator de ganho (2,5) ρ_{IVP} representa a reflectância no infravermelho próximo, ρ_{Ver} é a reflectância no vermelho, ρ_{azul} é a reflectância no azul, C_1 representa o coeficiente de correção dos efeitos atmosféricos para o vermelho (valor igual a 6), C_2 o coeficiente de correção dos efeitos atmosféricos para o azul (valor igual a 7,5), e L representa o fator de correção para interferências do solo (Formigoni et al. 2011).

Para o cálculo do SAVI foi utilizada a equação proposta por Huete et al. (1988):

$$SAVI = \frac{(1 + L) (\rho_{IV} - \rho_V)}{(L + \rho_{IV} + \rho_V)}$$

Onde: L é uma constante de ajuste, sendo aqui utilizado $L = 0,3$, ρ_{IV} representa a reflectância no infravermelho próximo, e ρ_V representa a reflectância no vermelho.

No cálculo do Índice de Área Foliar (IAF), foi utilizada a equação proposta por Allen et al. (2002):

$$LAI = - \frac{\ln\left(\frac{0.69 - SAVI}{0.59}\right)}{0.91}$$

O cálculo do Índice de umidade (NDWI) foi realizado por meio da equação desenvolvida por Gao (1996):

$$NDWI = \frac{\rho_{IV} - \rho_{NIR}}{\rho_{IV} + \rho_{NIR}}$$

Onde: ρ_{IV} corresponde à do infravermelho próximo e ρ_{NIR} à banda do infravermelho médio do *LANDSAT-5* e 8.

Esses índices foram utilizados para avaliar as modificações espaciais e temporais da área vegetada na paisagem em estudo. O tratamento e análise desse conjunto de dados foram conduzidos no programa Erdas 9.3.

3.1.5 Obtenção dos dados de precipitação

Na análise das mudanças da área de vegetação, em função da precipitação, foram utilizados dados de precipitação, referentes ao período entre 1989 e 2014, disponíveis no site da Agência Pernambucana de Água e Clima (APAC) (2016). Considerando a marcante sazonalidade das chuvas, característica do semiárido brasileiro, foram utilizados os dados do acumulado da pluviometria dos três meses anteriores aos meses de obtenção das imagens utilizadas na análise de uso e cobertura da terra. Com os dados de precipitação do acumulado dos três meses chuvosos entre 1989 e 2014 e da área ocupada pela vegetação (km²) nos anos de 1990, 1995, 2007 e 2014, foi construído um gráfico em função da área ocupada pela vegetação (km²).

3.2 Resultados

3.2.1 Dinâmica espaço temporal no uso e cobertura da terra

Ao analisar as classes de uso e cobertura da terra, a Área Urbana apresentou crescimento ao longo de todos os anos estudados, com um aumento de mais de três vezes em sua extensão, variando de 13,81 km² em 1990 para 44,31 km² em 2014 (Tabela 1). A Área Rural mostrou um padrão distinto do observado na Área Urbana (Figura 2), apresentando inicialmente uma diminuição do ano de 1990 para 1995 (Tabela 1). No entanto, posteriormente foi evidenciado um crescimento de 63% desta área de 1995 para 2007, seguida

de uma redução, atingindo 280,60 km² em 2014 (Tabela 1). Na área de Solo Exposto foram encontrados valores próximos para os anos de 1990 e 1995, havendo uma redução de aproximadamente 50% em sua extensão do ano de 1995 para 2007 (Tabela 1). Nos anos de 1995 e 2007, observou-se o aumento da Área Rural e a diminuição de Solo Exposto, em semelhante proporção. Em 2007 e 2014 houve um aumento de 25% na extensão do Solo Exposto (Tabela 1, Figura 2). Na área florestada analisada, a classe de Vegetação de Caatinga mostrou uma diferença pouco expressiva entre os últimos anos (Tabela 1, Figura 2). Apenas o ano de 1990 apresentou valores percentuais mais próximos de 40% de cobertura da área total avaliada, as demais décadas mostraram valores mais próximos a 50% (Tabela 1, Figura 2).

Tabela 1 - Distribuição das classes de uso e cobertura da terra para a paisagem do município de Caruaru, Pernambuco, Nordeste do Brasil, correspondendo aos anos de 1990, 1995, 2007 e 2014.

Anos	Área Urbana	Área Rural	Solo Exposto	Vegetação de Caatinga
	km ²			
1990	13,81	255,63	284,48	374,47
1995	16,05	172,19	283,03	464,63
2007	24,90	288,35	143,03	459,88
2014	44,31	280,60	178,58	463,08

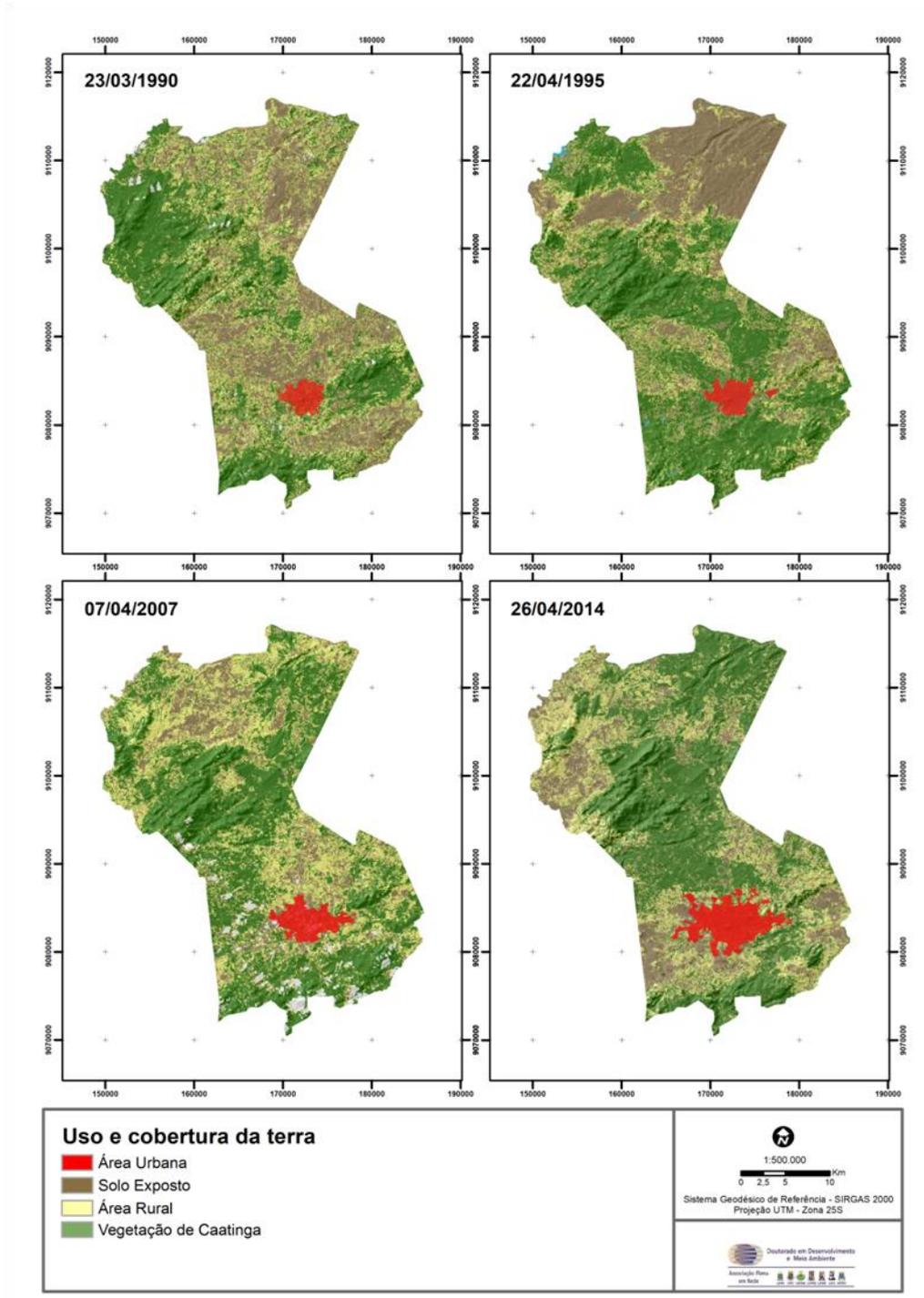


Figura 2 - Mapas de uso e cobertura da terra para a paisagem do município de Caruaru, Pernambuco, Nordeste do Brasil, representando os anos de 1990, 1995, 2007 e 2014.

3.2.2 Dinâmica dos índices de vegetação e precipitação

O Índice de Vegetação Ajustado (EVI), o Índice de Vegetação Ajustado ao solo (SAVI), o Índice de Área Foliar (IAF) e o Índice de Umidade (NDWI) mostraram um padrão

semelhante para a distribuição das classes entre os anos estudados, com exceção de 1990 (Figura 3).

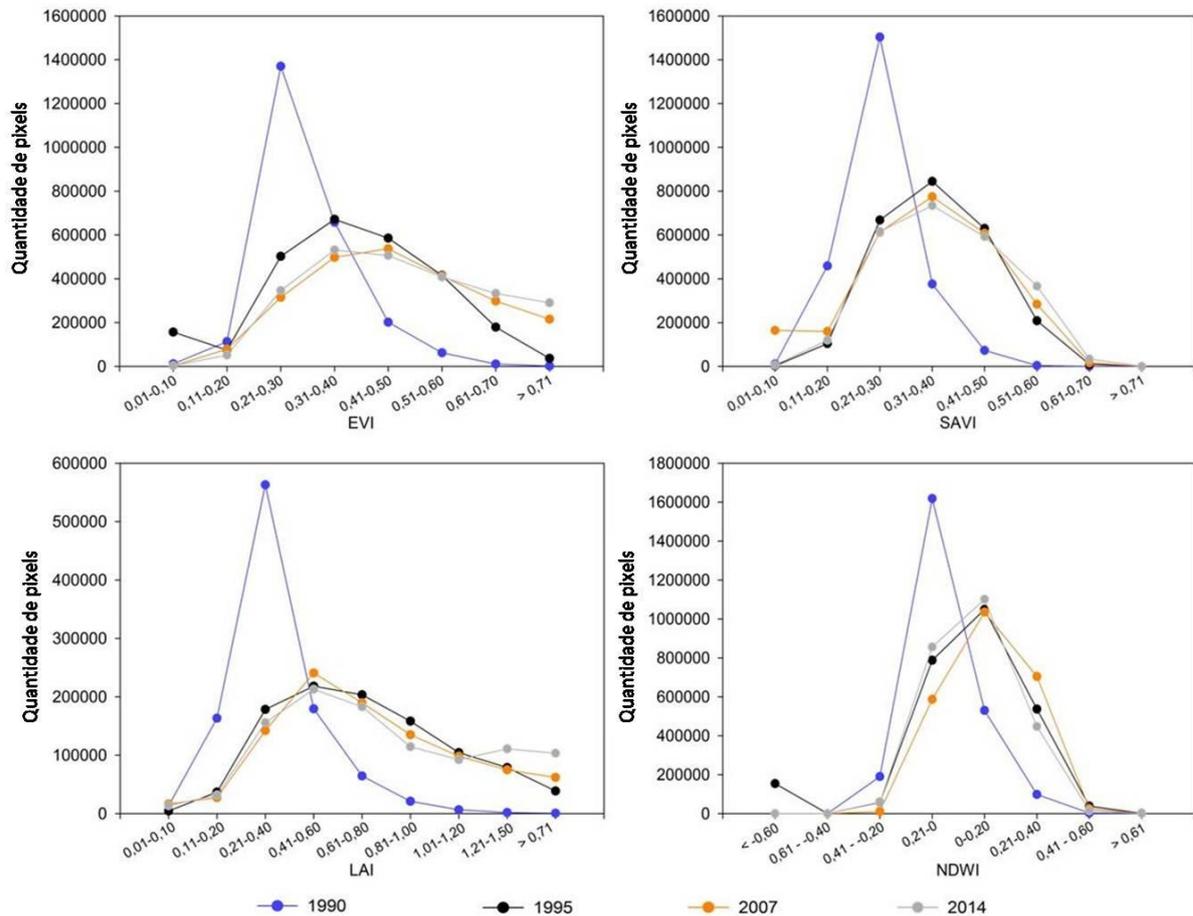


Figura 3 - Distribuição das classes do Índice de Vegetação Ajustado (EVI), do Índice de Vegetação Ajustado ao solo (SAVI), do Índice de Área Foliar (IAF) e do Índice de Umidade (NDWI) para a paisagem do município de Caruaru, Pernambuco, Nordeste do Brasil, representando os anos de 1990, 1995, 2007 e 2014.

Na avaliação do Índice de Vegetação Ajustado (EVI) foi identificada na imagem de 1990 a maior quantidade de pixels na classe 0,21-0,30, enquanto nos demais anos, os maiores valores se encontram entre 0,31-0,50 (Figuras 4 e 5). Os valores de EVI na classe 0,21-0,30 estão relacionados à presença de solo exposto e vegetação seca, e os valores entre 0,101-0,20 estão relacionados com a área urbana e com a presença de solo exposto. As áreas de vegetação se enquadram em classes com valores acima de 0,31. As serras e áreas de maior elevação apresentaram valores de EVI superiores a 0,40 em todas as imagens avaliadas.

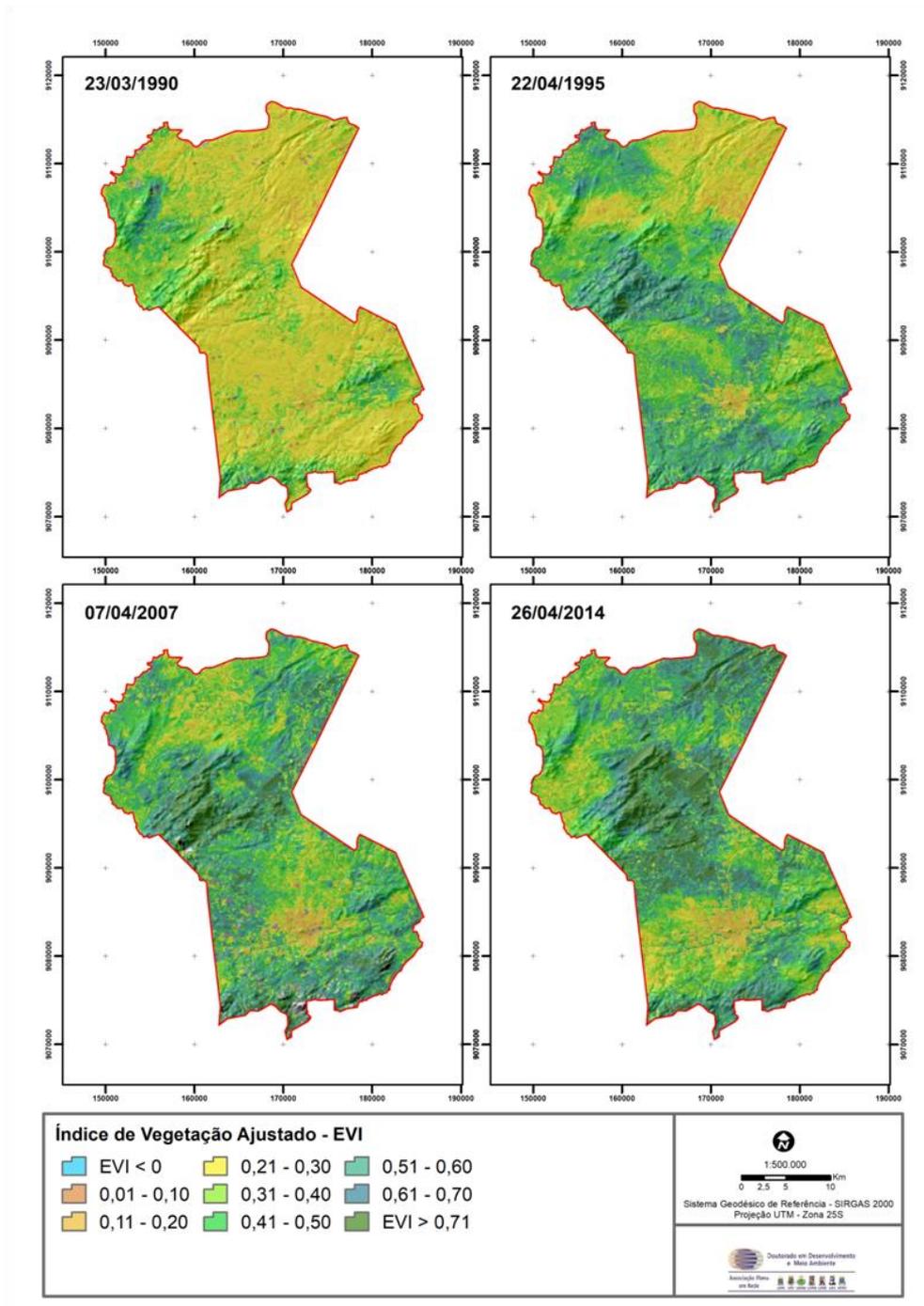


Figura 4 - Mapas do Índice de Vegetação Ajustado (EVI) para a paisagem do município de Caruaru, Pernambuco, Nordeste do Brasil, representando os anos de 1990, 1995, 2007 e 2014.

O Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) apresentou maior quantidade de pixels na classe 0,31-0,40 no ano de 1990, e para os anos de 1995, 2007 e 2014 foi encontrada maior quantidade de pixels na classe entre 0,21-0,30 (Figura 4). Estas classes estão relacionadas à presença de solo exposto e vegetação seca, e à presença de vegetação esparsa e seca, respectivamente.

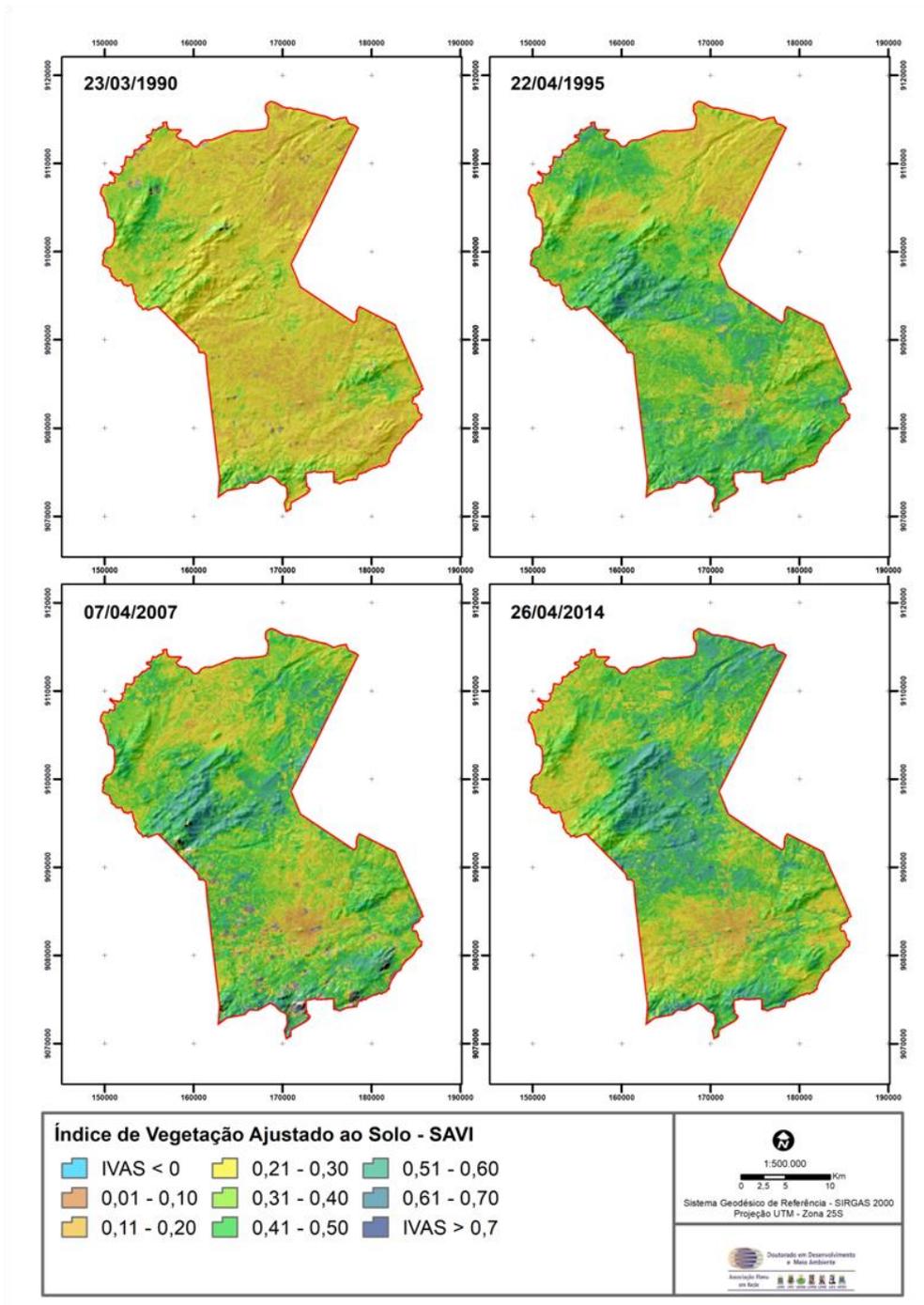


Figura 5 - Mapas do Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) para a paisagem do município de Caruaru, Pernambuco, Nordeste do Brasil, representando os anos de 1990, 1995, 2007 e 2014.

Com relação ao Índice de Área Foliar (IAF), em 1990 os valores de IAF apresentaram o maior pico dentro da classe 0,21-0,40, enquanto nas demais imagens avaliadas o maior pico está na classe 0,401-0,60 (Figura 4). Valores de IAF acima de 0,21 estão relacionados com a vegetação (Figura 7).

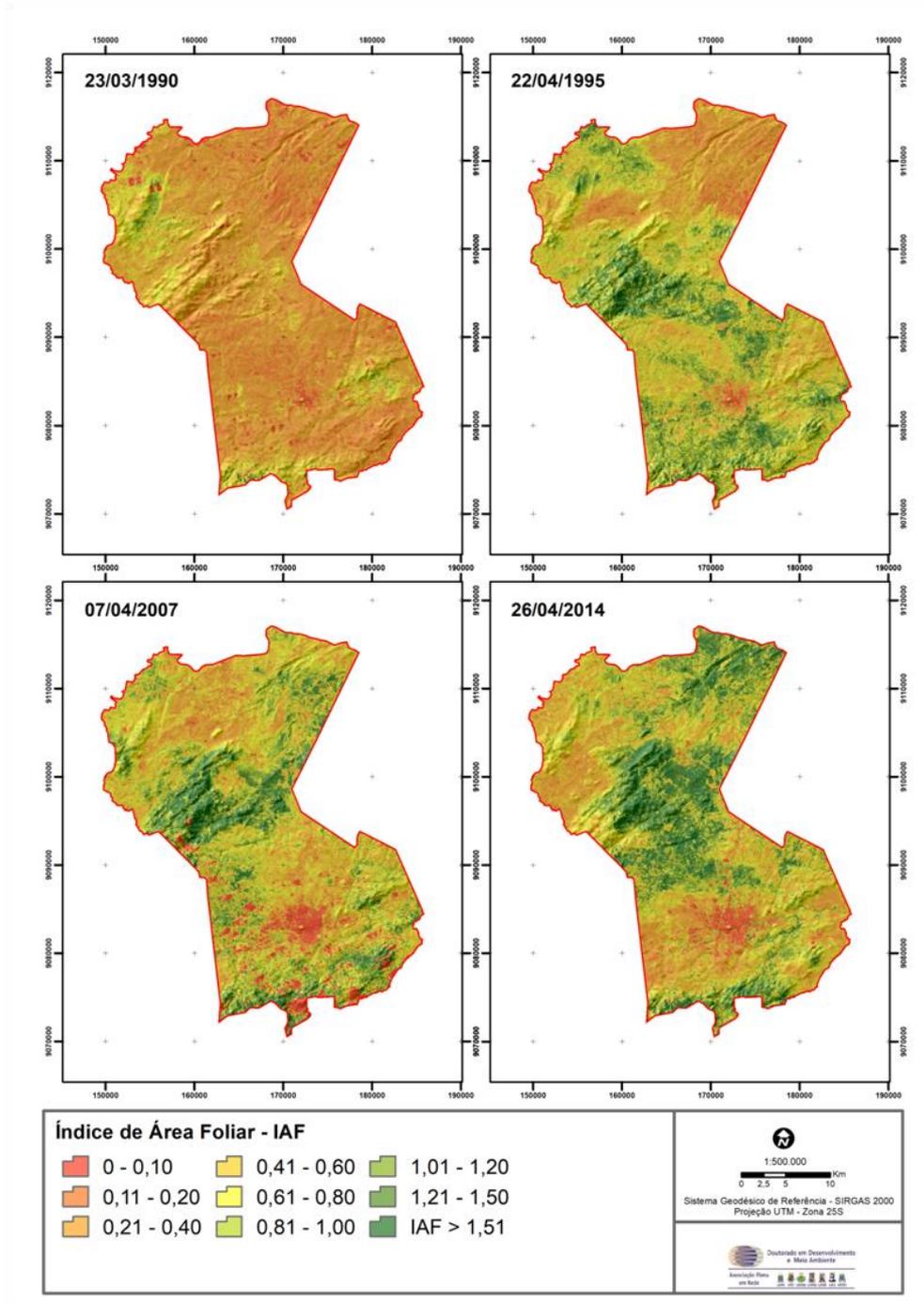


Figura 6 - Mapas do Índice de Área Foliar (IAF) para a paisagem do município de Caruaru, Pernambuco, Nordeste do Brasil, representando os anos de 1990, 1995, 2007 e 2014.

O Índice de Umidade (NDWI) seguiu o mesmo comportamento encontrado para os demais índices (Figura 4). Na década de 1990, o maior pico pode ser visualizado na classe com valores entre -0,21 e 0 e os demais anos apresentaram maior quantidade de pixels na classe de 0 à 0,20 (Figura 4).

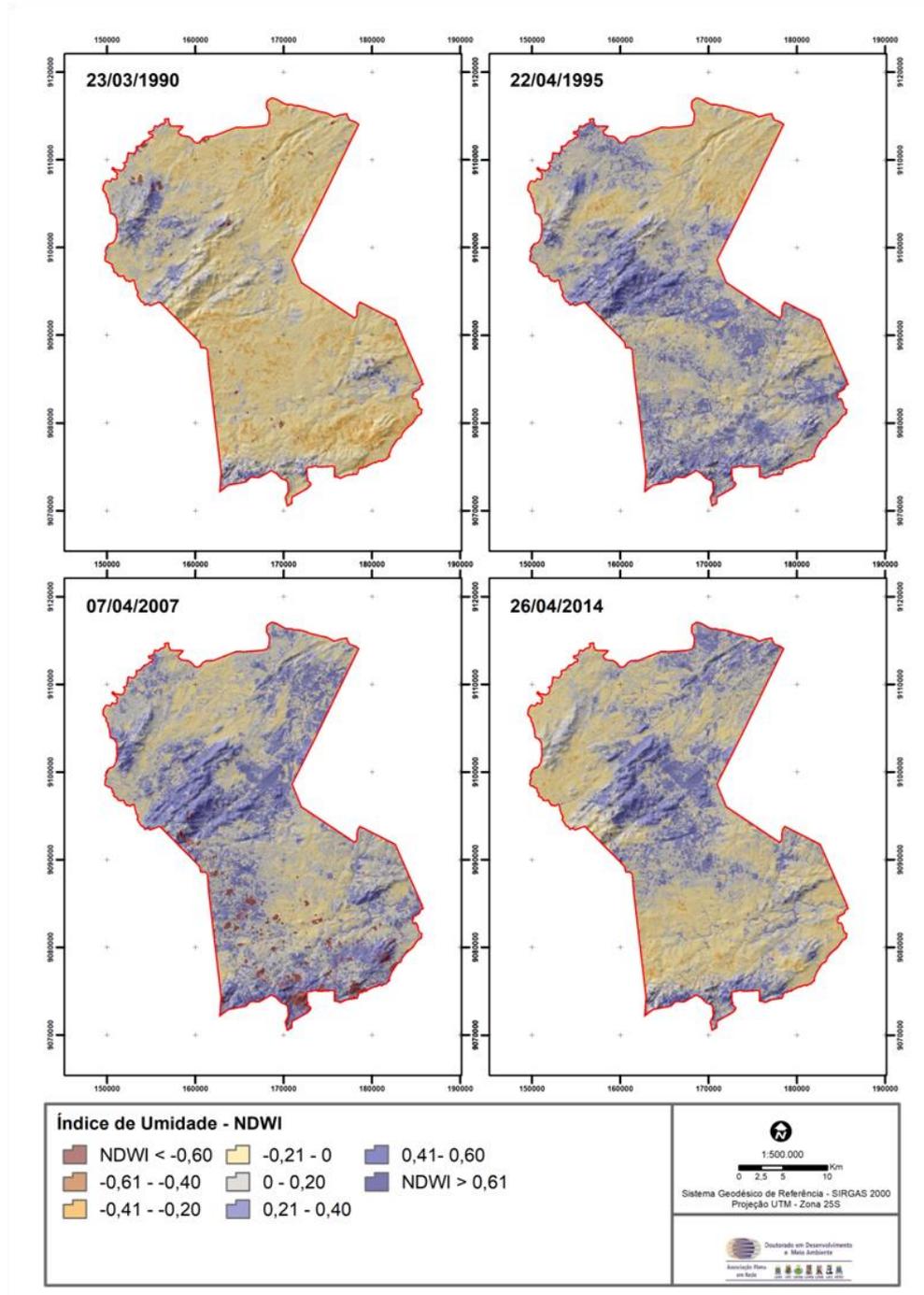


Figura 7 - Mapas do Índice de Umidade (NDWI) para a paisagem do município de Caruaru, Pernambuco, Nordeste do Brasil, representando os anos de 1990, 1995, 2007 e 2014.

Com relação à precipitação, foi registrada, para os três meses de chuva anteriores ao mês de obtenção das imagens, uma pluviometria de 34,3 mm, 142,4 mm, 266,3 mm e 148,3 mm para os anos de 1990, 1995, 2007 e 2014, respectivamente (Figura 3). Nestes mesmos anos a área ocupada pela vegetação na paisagem estudada foi de 374,47 km², 464,63 km², 459,88 km² e 463,08 km².

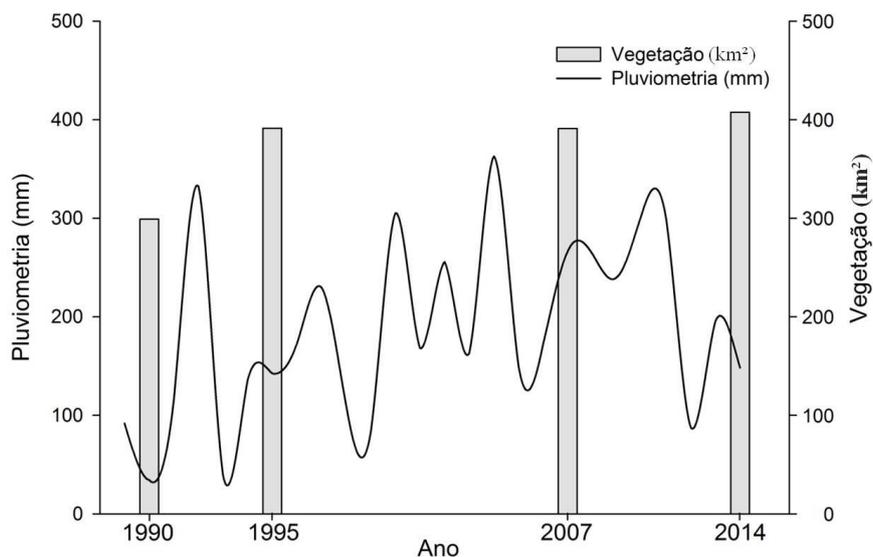


Figura 8 - Distribuição do acumulado pluviométrico (mm) dos três meses chuvosos ao longo dos anos de 1989 e 2014, e área (km²) ocupada pela vegetação nos anos de 1990, 1995, 2007 e 2014, na paisagem do município de Caruaru, Pernambuco, Nordeste do Brasil.

3.3 Discussão

3.3.1 Influência humana e climática na construção da paisagem

A paisagem do município de Caruaru apresentou o crescimento do núcleo urbano em quase três vezes em sua extensão, sendo este crescimento acompanhado do aumento no número de habitantes e domicílios na cidade (IBGE, 2010). Dados do censo demográfico de Caruaru mostram que a população residente passou de 213.697 habitantes, em 1991, para 314.912, em 2010 (IBGE, 2010). Neste mesmo intervalo de tempo, a quantidade de domicílios quase dobrou, passando de 51.286 para 96.310 (IBGE, 2010). Além disso, foi estimado um aumento de 35,2% no Produto Interno Bruto (PIB) entre os anos de 1991 e 2000 (MESQUITA e ANDRADE, 2006). Entre 2010 e 2013, os valores para o PIB per capita municipal passaram de R\$ 10.794,81 para R\$ 15.529,30 (IBGE, 2010). Estes dados revelam a expansão do núcleo urbano da cidade de Caruaru sendo acompanhada por um crescimento demográfico e também econômico. Essa expansão da área urbana ao longo das décadas recentes reflete um padrão de mudanças observado nas paisagens pelo mundo (ERNSTSON et al., 2010). Segundo Ernstson et al. (2010) o processo de urbanização contemporâneo é expresso através de mudanças na densidade populacional humana e na cobertura da terra.

As mudanças da área rural na paisagem de Caruaru, que apresentou um padrão distinto do observado na área urbana, tendo esta sido reduzida do ano de 2007 para o ano de 2014, foram acompanhadas de uma redução de 542 pessoas ocupadas no setor da agricultura em 2007 para 309 em 2013, e um aumento na quantidade de pessoas nos setores de comércio, indústria e serviços (IBGE, 2016). Este dado indica a possível migração de pessoas da área rural para ocupação de outras áreas, como a urbana. No Brasil, as redes migratórias têm se fortalecido nas cidades do interior, em virtude do aumento na quantidade de cidades e seu valor atrativo (BRAGA, 2006). Ao avaliar o processo de urbanização na China, Zhang e Song (2003) identificaram que a migração das pessoas da área rural para a área urbana resultou no aumento da população urbana, seguido pelo crescimento econômico do País. O mesmo parece estar ocorrendo no município de Caruaru que, de acordo com dados do IBGE (2016), vem apresentando crescimento demográfico e econômico constante.

A migração de pessoas da área rural para outros locais pode estar relacionada às condições climáticas da região. A paisagem estudada encontra-se em região de clima semiárido, onde há elevada incidência luminosa e temperatura, além de chuvas inconstantes, geralmente concentradas de fevereiro a abril (BARBOSA et al., 1989). Tais condições promovem eventos de seca que podem estimular a migração de pessoas em busca de novos locais para se assentarem. Essa migração de grupos humanos em virtude da recorrência de eventos de seca vem sendo documentada no semiárido brasileiro (ALMEIDA et al., 2016). Ao realizar uma análise histórica de uma paisagem na região do Araripe, no semiárido brasileiro, Almeida et al. (2016) observaram que a migração, o desmatamento, e o abandono de terras foram considerados os principais dirigentes de modificações na paisagem local. A migração de grupos humanos, com conseqüente desmatamento de novos locais para assentamento e abandono das terras previamente ocupadas pode ser um dos principais fatores responsáveis pelas mudanças na configuração das áreas de solo exposto e vegetação observada ao longo dos anos na paisagem em estudo.

Considerando que as áreas de vegetação da paisagem avaliada consistem predominantemente de vegetação de Caatinga, existem algumas características típicas para este bioma que não podem ser negligenciadas. Este tipo vegetacional é caracterizado como um mosaico de florestas que respondem ao regime sazonal de chuvas que ocorrem em cada região (LEAL et al., 2005). As espécies vegetais que a compõe geralmente perdem suas folhas durante a estação seca, voltando a desenvolvê-las quando se iniciam as chuvas (BARBOSA et al., 1989; PRADO, 2003; LEAL et al., 2005). Apesar de todas as imagens analisadas neste estudoserem obtidas durante o período chuvoso, o ano de 1990 foi marcado pelo início do

fenômeno de “El nino” (TRENBERTH, 1997). Este fenômeno promove fortes alterações climáticas, modificando o regime de chuvas (TRENBERTH, 1997). Dados de relatórios Climanalise do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (2017) mostram que houve um extenso período de seca no nordeste brasileiro de 1990 a 1993, com precipitações 28% abaixo da média em 1990. Considerando a sensibilidade da vegetação de Caatinga às chuvas, provavelmente o menor percentual de área vegetada encontrado para o ano de 1990 ocorreu em função da menor disponibilidade hídrica observada, provavelmente decorrente do início do El nino.

Os menores valores de EVI, SAVI, IAF e NDWI encontrados em 1990, quando comparados com as outras décadas, provavelmente estão associados à baixa pluviometria decorrente do início do El nino neste ano. A pluviometria registrada neste ano foi bem inferior à registrada em 1995, 2007 e 2014. De acordo com Formigoni et al. (2011), os valores de EVI são influenciados pelo regime pluviométrico, sendo seus maiores valores encontrados apenas nos meses de maior precipitação. Segundo esses autores, entre os biomas brasileiros, a Caatinga é o que apresenta os menores valores de EVI, corroborando com os resultados encontrados nesta pesquisa.

Com relação ao SAVI, este índice inclui um fator de correção para minimizar os efeitos do brilho refletido pelo solo, e vem sendo utilizado especialmente em locais onde a vegetação é esparsa, como ocorre em regiões semiáridas (HABOUDANE et al., 2004), como a Caatinga. Os menores valores de SAVI indicam a presença de vegetação mais esparsa ou solo exposto (OLIVEIRA et al., 2015), conforme encontrado neste estudo. No semiárido brasileiro, Vigano et al. (2011) indicaram valores de SAVI entre 0,21 e 0,32 associado à áreas de solo exposto. Sendo assim, os valores mais baixos desse índice para a década de 1990 provavelmente estão associados à baixa pluviometria decorrente do El nino, que culminou na menor densidade de vegetação e, portanto, na maior quantidade de área de solo exposto.

O IAF é amplamente utilizado para análises da vegetação, permitindo a análise de parâmetros estruturais na cobertura vegetal de uma dada área (DIJK e BRUIJNZEEL, 2001), admitindo inferências com relação às respostas da vegetação às condições climáticas. Kalacska et al. (2005) observaram em sua pesquisa a influência do clima e dos diferentes tipos de uso da terra no IAF, o que também pode ser inferido no presente estudo, uma vez que este índice mostrou menores valores provavelmente em função da menor precipitação na década de 1990. O NDWI, com valores negativos para 1990, indica a presença de vegetação seca, já os valores positivos representam a vegetação verde, mais densa (CARDOZO et al., 2009). Seguindo essa interpretação, a década de 1990 apresentou maior extensão de área

ocupada por vegetação seca, enquanto as demais décadas tiveram maior extensão de vegetação verde. O NDWI permite a estimativa do conteúdo de água das plantas, fornecendo relevantes informações para ambientes onde este recurso é escasso, como as regiões semiáridas (OLIVEIRA et al., 2010; FRANÇA et al., 2013). Este índice apresenta valores negativos em áreas onde a vegetação encontra-se seca, com menor precipitação (BRITO et al., 2017). Brito et al. (2017), avaliando NDWI no semiárido brasileiro, observaram que seus valores variaram de acordo com a precipitação, sendo encontrados valores negativos nos meses de menor precipitação, e valores mais elevados no período chuvoso.

Nos anos mais recentes, de 1995 a 2014 podem ser visualizadas mudanças na configuração das áreas de vegetação na paisagem, o que indica a possibilidade da ocorrência de um processo de fragmentação da paisagem no município de Caruaru decorrente do desenvolvimento de atividades humanas, como a migração de grupos humanos e expansão da área urbana. Tais atividades humanas podem tornar locais previamente desmatados ou utilizados para atividades agropecuárias que foram abandonados sujeitos ao processo de regeneração. Através de diversas formas de uso da terra, as pessoas promovem a formação de fragmentos descontínuos em áreas onde antes havia a formação de florestas contínuas (VALENTE e VETTORAZZI, 2002).

3.4 Conclusão

Os achados desta pesquisa evidenciam o papel das pessoas e do clima como dirigentes de modificações nas paisagens. Tanto as atividades humanas ligadas à urbanização e à migração de grupos humanos, como as condições climáticas, mostram-se como fatores imprescindíveis para a compreensão da dinâmica de construção das paisagens. As mudanças provocadas pelas atividades humanas na paisagem ocorreram tanto nas proximidades de áreas urbanas, como nas áreas rurais, mais próximas à vegetação. As mudanças espaciais e temporais mais evidentes ocorreram com o crescimento da área urbana, que acompanhou o crescimento demográfico e econômico do município estudado. Com relação às áreas florestadas, por se tratar de uma área de vegetação de Caatinga, as mudanças espaciais e temporais em grande escala mostraram ser influenciadas principalmente pelas variáveis climáticas. O fenômeno de El Niño, iniciado na década de 1990, parece ter modificado a pluviometria da região, o que influenciou os resultados encontrados para a extensão da área de vegetação e para os índices de vegetação avaliados.

4 PLASTICIDADE FENOTÍPICA DE ESPÉCIES VEGETAIS EM ÁREA PRESERVADA E EM REGENERAÇÃO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Os ecossistemas áridos e semiáridos recobrem cerca de 30% da superfície terrestre e apresentam condições adversas para a vegetação, como a escassez hídrica, intensa incidência luminosa e elevada amplitude térmica (SIVAKUMAR et al., 2005). Essas condições adversas podem ser agravadas por ações humanas como a exploração de recursos naturais, o desmatamento e a expansão agropecuária, que modificam a paisagem, alterando fatores como temperatura, precipitação e características do solo (e.g. CASTELLETTI et al., 2003; ARAÚJO, 2017). A intensificação de condições estressantes para os vegetais pode ser observada em florestas perturbadas, em processo de regeneração, que apresentam diferenças em suas características de acordo com o tipo de perturbação a que estiveram submetidas (LOPES et al., 2012; ARAÚJO et al., 2017).

Para sobreviver frente a essas condições, as espécies vegetais desenvolvem estratégias que lhes garantem resiliência desenvolvendo caracteres de resposta às condições locais do ambiente (HARRIS et al., 2014). Espécies resilientes são aquelas capazes de se ajustar às variações ambientais impostas pelo ecossistema, recuperando-se após distúrbios (GUNDERSON, 2000; HARRIS et al., 2014). Entre os órgãos vegetais, as estruturas foliares são as que evidenciam tais ajustes de modo imediato, devido à sua elevada plasticidade fenotípica (FAHN e CUTLER, 1992; TAIZ e ZEIGER, 2004). Por meio de modificações em sua estrutura morfoanatômica, fisiologia e resposta espectral, as folhas podem se ajustar para tolerar as adversidades (MOHAMED et al., 2000; REALPE-GOMEZ et al., 2013). Considerando o exposto, vêm sendo realizados estudos que visam conhecer as respostas dos vegetais às condições ambientais por meio de ajustes em sua estrutura morfoanatômica foliar (e.g. FAHMY, 1997; HANBA et al., 2002; COSTA et al., 2011; KUSTER et al., 2011; REALPE-GOMEZ et al., 2013).

Mais recentemente, com o desenvolvimento de tecnologias cada vez mais avançadas, as respostas da vegetação vêm sendo estudadas por meio da utilização de índices de vegetação, que são calculados a partir de valores fornecidos por sensores que detectam a resposta espectral dos vegetais (e.g. GALVÍNCIO e PIMENTEL, 2012; GALVÍNCIO et al., 2013; LIPPERT et al., 2015; GOMES et al., 2016). Esses sensores descrevem de modo eficiente o comportamento espectral da vegetação, fornecendo informações sobre o tipo e estrutura do dossel, a fenologia das espécies e condições de estresse ambiental (JENSEN, 2009). A resposta espectral da vegetação determina os comprimentos de onda que serão

refletidos em maior ou menor grau no espectro eletromagnético (PONZONI e SHIMABUKURU, 2010), sendo as medidas de reflectância úteis para a compreensão do comportamento das espécies sob diferentes condições ambientais. A partir das medidas de reflectância foliar podem ser calculados índices de vegetação como o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), que informa parâmetros de mudança na vegetação (JENSEN, 2009). Por esse motivo, o NDVI é amplamente utilizado em estudos de monitoramento, sendo seu uso indicado para o estudo de regiões semiáridas (OLEXA e LAWRENCE, 2014).

No semiárido brasileiro, o bioma Caatinga encontra-se amplamente fragmentado e degradado, apresentando diversos núcleos em processo de desertificação (SÁ e ANGELOTTI, 2009). Essa degradação vem sendo promovida principalmente devido à ação humana, que já modificou aproximadamente 80% deste bioma para a expansão agropecuária, exploração de recursos naturais e crescimento urbano (ALVES et al., 2009). Diante dessa realidade, tornam-se urgentes esforços no sentido de conhecer as consequências de perturbações e da degradação para as espécies vegetais. Estes organismos podem atuar como indicadores de resposta às condições ambientais, sendo possíveis preditores de condições futuras, sobretudo em locais perturbados e/ou degradados. Nesse sentido, esta pesquisa tem como objetivo avaliar as respostas de espécies vegetais estabelecidas em área preservada e perturbada em processo de regeneração, incluídas no bioma Caatinga no semiárido brasileiro, elencando para isto parâmetros morfoanatômicos e espectrais foliares. Serão testadas as seguintes hipóteses para as espécies *Poincianella pyramidalis* Tull., *Croton blanchetianus* Baill., *Myracrodruon urundeuva* (Engl.) Fr. All. e *Schinopsis brasiliensis* Engl.: H1, há diferença na arquitetura morfoanatômica foliar de indivíduos da mesma espécie quando estabelecidos em área preservada e em regeneração; H2, há diferença na reflectância espectral de indivíduos da mesma espécie quando estabelecidos em área preservada e em regeneração; H3, há diferença no NDVI de indivíduos da mesma espécie quando estabelecidos em área preservada e em regeneração.

4.1 Material e Métodos

4.1.1 Área de estudo

O estudo foi realizado em duas áreas inseridas em uma paisagem de Caatinga localizada no semiárido brasileiro. As áreas selecionadas estão situadas na Estação Experimental José Nilson de Melo, no Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), entre as

coordenadas 8°14'19''S e 35°55'17''W, no município de Caruaru, Pernambuco, Nordeste do Brasil (Figura 9).

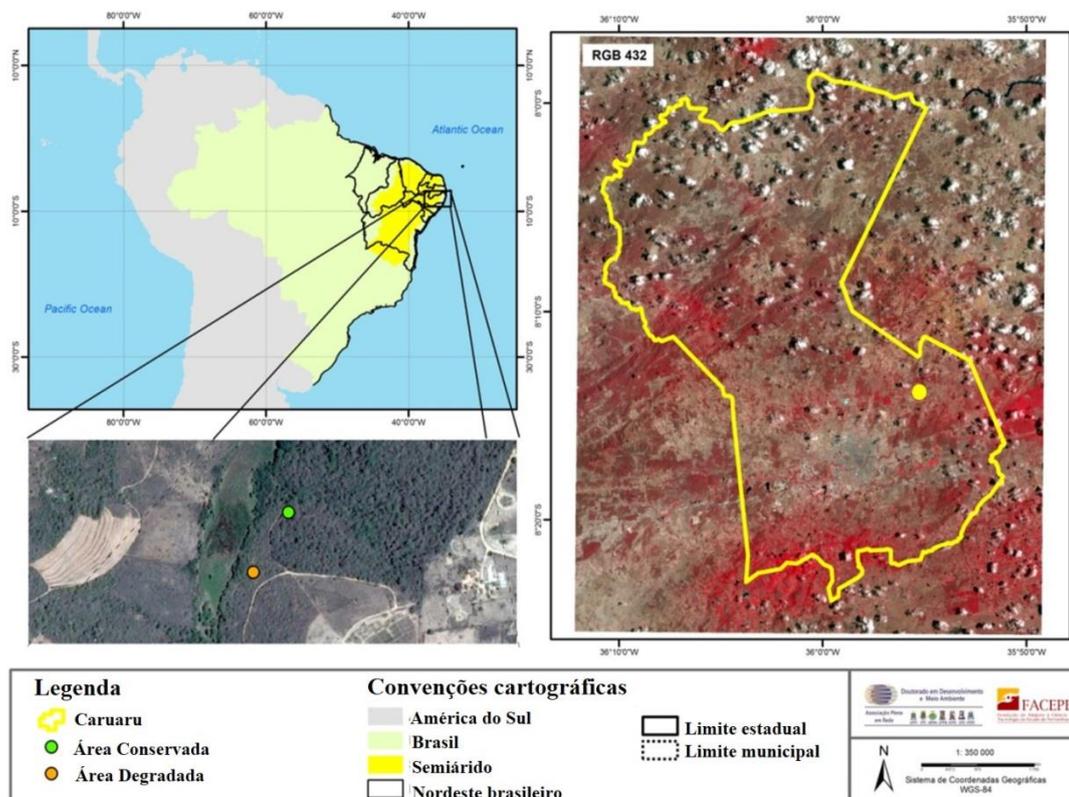


Figura 9 - Localização da área de estudo no Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA) em Caruaru, Pernambuco, semiárido brasileiro.

O IPA de Caruaru compreende 190 ha de área manejada e utilizada para diversos fins agropecuários e madeireiros desde sua fundação em 1959 (LOPES et al., 2012). A primeira área selecionada para esta pesquisa compreende uma área do IPA de aproximadamente 40 ha que apresenta vegetação caracterizada como caatinga hipoxerófila. Essa área de vegetação de caatinga vem sendo preservada desde meados de 1960, não sendo permitida a realização de atividades humanas em sua extensão (ARAÚJO et al., 2017). No presente estudo, considerando sua conservação há mais de cinco décadas, essa área foi denominada como “Área Preservada” (AP). A segunda área escolhida possui aproximadamente 3 ha que foram manejados para fins agrícolas desde a fundação do IPA. Esta área teve sua floresta nativa totalmente retirada e substituída pelo plantio da cactácea conhecida popularmente como palma-gigante (*Opuntia ficus-indica* Mill.) (ARAÚJO et al., 2017). Segundo registros de Lopes et al. (2012) não foram utilizados fertilizantes, pesticidas ou fogo durante o cultivo desta espécie no local. Em 1994, essa área foi abandonada, e se iniciou um processo de regeneração natural no local, evidenciado pelo brotamento de árvores cortadas e sementes

presentes no banco do solo (LOPES et al., 2012; ARAÚJO et al., 2017). Atualmente, esta área segue sendo utilizada apenas para fins de pesquisa científica. Nesta pesquisa, essa segunda área escolhida foi denominada como “Área em Regeneração” (AR), considerando todo o histórico de uso humano pelo qual foi submetida.

O clima local é semiárido do tipo BSh (KOPPEN, 1948), e a precipitação média anual é de 694 mm (ALCOFORADO-FILHO et al., 2003). De acordo com dados de Araújo et al. (2017) para o ano de realização da pesquisa, a AP apresentou temperatura média de 26,26 °C, ventos com velocidade média de 0,14 ms⁻¹, e médias de luz e umidade com valores de 6549 lx e 56,40%, respectivamente. A AR mostrou, para o mesmo período avaliado, valores médios de temperatura, velocidade dos ventos, luz e umidade de 27,07 °C, 0,32 ms⁻¹, 9565 lx e 54,06%, respectivamente (ARAÚJO et al., 2017). A região onde o IPA está inserido apresenta afloramentos rochosos e solo classificado como Podzólico Amarelo Tb eutrófico, abrupto, A moderado, com textura franco-arenosa (ALCOFORADO-FILHO et al., 2003). Com relação à fisionomia vegetal, a AP apresenta maior densidade de espécies arbóreas, enquanto na AR predomina a vegetação arbustiva (LOPES et al., 2012).

A vegetação de caatinga hipoxerófila presente no IPA apresenta espécies distribuídas em 41 famílias, sendo 19 representantes do componente arbóreo (ALCOFORADO-FILHO et al., 2003). Entre as espécies arbóreas com maior densidade absoluta no local estão *Poincianella pyramidalis* Tul. (catingueira), *Croton blanchetianus* Baill. (marmeleiro), *Myracrodruon urundeuva* (Engl.) Fr. All. (aroeira) e *Schinopsis brasiliensis* Engler (baraúna) (ALCOFORADO-FILHO et al., 2003), sendo estas espécies selecionadas para a realização desta pesquisa.

4.1.2 Obtenção e processamento dos dados

Para avaliar as respostas da vegetação de Caatinga na Área Preservada e Área em Regeneração, foram coletadas 15 folhas adultas e saudáveis, totalmente expostas ao sol, situadas no quinto nó contado a partir do ápice caulinar, de cinco indivíduos de cada uma das quatro espécies selecionadas em cada área.

Para identificação do material botânico foram coletados ramos férteis (floridos e/ou frutificados), que foram prensados para posterior desidratação em estufa e herborização. Para cada espécime coletado foram anotadas as seguintes informações: nome do coletor, número e local de coleta, habitat, hábito, tipo de vegetação, coordenadas geográficas e nome vernacular. Todas as amostras foram identificadas taxonomicamente utilizando chaves de identificação, bibliografia especializada, comparação com material de herbário e consulta a especialistas.

Das amostras coletadas de cada indivíduo, 10 folhas seguiram para o Laboratório de Fitomorfologia Funcional (LAF) da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE). As amostras foliares seguiram para a análise morfoanatômica, sendo digitalizadas para mensuração dos parâmetros morfológicos de área total (cm²), comprimento (cm) e largura foliar (cm). Em seguida, para processamento e obtenção dos parâmetros anatômicos as amostras foram acondicionadas em FAA 50%, seguindo recomendações de Johansen (1940). Os caracteres anatômicos foram avaliados após a confecção das lâminas histológicas semipermanentes contendo secções transversais e paradérmicas da região mediana da lâmina foliar. As secções transversais foram obtidas à mão livre, já as secções paradérmicas foram obtidas por meio de dissociação realizada em fragmentos da região mediana da lâmina foliar após imersão em NaClO₄ 40%. A confecção das lâminas seguiu metodologia usual, segundo Johansen (1940) e Kraus e Arduin (1997), onde as secções transversais e paradérmicas obtidas foram clarificadas em solução de hipoclorito de sódio, lavadas e imersas em solução de água acética (1%), com posterior lavagem e coloração com azul de Astra e Safranina. Após processo de coloração as secções foram imersas em glicerina e as lâminas vedadas com lamínula e esmalte incolor (JOHANSEN, 1940; KRAUS e ARDUIN, 1997).

Para caracterizar a arquitetura morfoanatômica foliar das espécies selecionadas foram utilizados os parâmetros de: área, comprimento, largura e espessura da lâmina foliar, espessura do mesofilo, espessura da cutícula e da epiderme nas faces adaxial e abaxial, espessura dos parênquimas paliçádico e esponjoso, densidade de células fundamentais da epiderme nas faces adaxial e abaxial, e densidade e índice de estômatos e tricomas nas duas faces epidérmicas. De cada folha amostrada foram obtidas cinco medidas para cada parâmetro analisado. Para as folhas compostas, a medida de área foliar foi obtida por meio da medição da área dos folíolos e multiplicação pelo número de folíolos presente na folha. As análises e mensurações foram realizadas em imagens digitais obtidas por câmera digital CCD acoplada ao microscópio óptico, utilizando programa de análise de imagens CMEIAS-IT 1.28 (WILCOX et al., 2002).

As cinco amostras foliares que seguiram para a análise espectral foram totalmente envolvidas em papel laminado, devidamente ensacadas e identificadas, e acondicionadas em caixa térmica de isopor até chegar ao Laboratório de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento (SERGEO) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). As medidas de reflectância foliar foram obtidas em laboratório por meio da utilização do espectrorradiômetro FieldSpec® 4 ASD, com pistola de leitura acoplada e calibrada. Como medida de referência para calibração, foi utilizado o painel Spectralon® de cor branca. As

medidas de refletância espectral foram realizadas na porção mediana da lâmina foliar, na face adaxial, sempre que possível ao lado da nervura principal. Para os indivíduos que mostraram folhas/folíolos apresentando área menor que a área de medição da pistola, as medidas foram realizadas em folhas/folíolos dispostos lado a lado, de modo a preencher todo o campo de medição da pistola, sem deixar espaços vazios, com o mínimo de sobreposição. Na leitura realizada em cada uma das cinco folhas coletadas para cada indivíduo foram registradas as medidas de reflectância distribuídas na faixa entre 350 nm a 2500 nm do espectro eletromagnético, através do programa ViewSpec Pro Version 5.6.

4.1.3 Análise dos dados

Os parâmetros morfoanatômicos mensurados foram inicialmente avaliados por meio do teste-t ($p \leq 0,05$). Em seguida, para testar se existe diferença na arquitetura morfoanatômica foliar de indivíduos da mesma espécie quando estabelecidos na AP e na AR, as medidas obtidas foram logaritimizadas ($\log(x+1)$) e comparadas por meio de uma PERMANOVA (one-way) com distância Euclidiana. Estes mesmos parâmetros foram organizados em uma matriz de correlação e submetidos a uma Análise de Componentes Principais (PCA), para visualizar o agrupamento e diferenciação das amostras no espaço multivariado, identificando quais os parâmetros que mais contribuíram para a segregação das amostras nas áreas estudadas.

Para testar as possíveis diferenças na reflectância espectral das espécies entre as áreas avaliadas, foi empregado o teste de Mann-Whitney. Em seguida, os valores de reflectância foliar foram utilizados para construção de gráficos apresentando valores médios de reflectância para cada comprimento de onda (350-2500 nm), em cada espécie, nas áreas avaliadas. Esses comprimentos de onda incluem a faixa de Radiação Fotossinteticamente Ativa, que compreende a região do visível, entre os comprimentos 380 nm e 710 nm, e a faixa do infravermelho, a partir de 750 nm (LARCHER, 2004). A análise das curvas de reflectância permitiu a visualização e comparação do comportamento espectral das espécies entre a AP e AR.

Com os valores de reflectância obtidos foi calculado o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) (JENSEN, 1996), por meio da equação:

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$

Onde NIR é a reflectância no comprimento de onda do infravermelho próximo (760 a 900 nm) e R é a reflectância correspondente ao comprimento de onda na região do vermelho

(630 a 690 nm). Para testar a existência de diferença no NDVI de indivíduos da mesma espécie quando estabelecidos na AP e AR, seus valores foram comparados por meio do teste-t ($p \leq 0,05$). Todas as análises estatísticas foram realizadas no programa PAST versão 3.16 (HAMMER et al., 2001).

4.2 Resultados

4.2.1 Arquitetura morfoanatômica foliar

Os parâmetros morfológicos de área, largura e comprimento foliar apresentaram diferenças significativas para a espécie *Poincianella pyramidalis* Tull., que mostrou maiores valores médios nos indivíduos estabelecidos na Área Preservada quando comparados com os da Área em Regeneração (Tabela 2). Com relação à espessura foliar *P. pyramidalis* não apresentou diferença significativa entre as áreas (Tabela 2). Em *Croton blanchetianus* Baill. as medidas de área, largura e espessura foliar mostraram diferença significativa quando comparados os indivíduos entre as áreas (Tabela 2). Apenas o comprimento foliar não mostrou diferença entre as áreas amostradas para esta espécie (Tabela 2). Os maiores valores médios para a área e largura foliar em *C. blanchetianus* foram encontrados nos indivíduos da AP (Tabela 2). Já a espessura foliar apresentou maiores valores para esta espécie na AR (Tabela 2). Entre os parâmetros da morfologia foliar, em *Myracrodruon urundeuva* (Engl.) Fr. All, a área, largura e comprimento foliar não diferiram significativamente (Tabela 2). Apenas a espessura foliar mostrou diferenças para *M. urundeuva* entre a AP e a AR, com os maiores valores médios presente nos indivíduos da AR (Tabela 2). Em *Schinopsis brasiliensis* Engl. o único parâmetro que apresentou diferença significativa entre a AP e AR foi a espessura foliar, com os maiores valores nos indivíduos desta última área (Tabela 2).

Tabela 2 - Média e desvio padrão dos parâmetros morfoanatômicos foliares e NDVI dos indivíduos de *Poincianella pyramidalis* Tull., *Croton blanchetianus* Baill., *Myracrodruon urundeuva* (Engl.) Fr. All. e *Schinopsis brasiliensis* Engl. estabelecidos em áreas de vegetação de caatinga preservada e perturbada em processo de regeneração no semiárido brasileiro. AP: Área Preservada; AR: Área em Regeneração; AD: face adaxial; AB: face abaxial; EF: espessura foliar; EM: Espessura mesofilo; EPP: Espessura parênquima paliádico; EPE: Espessura parênquima esponjoso; EC: Espessura cutícula; EE: Espessura epiderme; DCFE: Densidade células fundamentais da epiderme; DE: Densidade estômatos; IE: Índice estômatos; DT: Densidade tricomas; IT: Índice tricomas. Valores seguidos de letras minúsculas diferentes mostram diferença significativa ($p \leq 0.05$).

Parâmetros	<i>Poincianella pyramidalis</i> Tul.		<i>Croton blanchetianus</i> Baill.		<i>Myracrodruon urundeuva</i> (Engl.) Fr. All.		<i>Schinopsis brasiliensis</i> Engl.	
	AP	AR	AP	AR	AP	AR	AP	AR
Área total (cm ²)	128.73±36.85a	103.09±33.08b	66.01±14.89a	46.6±16.19b	97.73±34.13a	110.86±32.33a	45.35±17.24a	54.35±33.85a
Largura (cm)	15.99±2.49a	13.08±2.13b	7.30±0.96a	6.04±1.09b	11.28±1.94a	11.38±1.73a	6.51±0.77a	7.40±2.10a
Comprimento(cm)	15.71±1.91a	13.42±1.92b	12.09±1.74a	12.60±2.29a	15.75±3.09a	15.17±2.13a	10.88±2.05a	10.62±2.84a
EF (µm)	124.25±16.78a	128.86±22.12a	92.79±12.47b	101.10±9.87a	127.87±17.52b	154.82±18.34a	169.06±22.75a	143.80±27.31b
EM (µm)	93.47±15.02a	94.66±19.41a	63.25±10.00b	70.11±8.02a	96.37±14.67b	118.58±16.38a	136.78±21.28a	114.48±24.28b
EPP (µm)	40.54±10.01a	39.14±11.30a	36.94±9.11b	40.12±5.52a	65.19±11.91b	72.03±10.69a	93.61±16.74a	78.38±21.38b
EPE (µm)	52.85±8.93b	57.47±11.08a	28.02±4.40b	30.11±4.55a	31.50±4.28b	47.04±8.00a	41.28±6.11a	34.99±4.60b
EC-AD (µm)	3.01±0.56b	3.28±0.59a	3.21±0.71a	2.02±0.52b	4.18±0.83a	3.70±0.74b	4.11±0.64a	3.80±0.74b
EC-AB (µm)	2.38±0.44b	2.67±0.52a	1.84±0.39a	1.51±0.27b	1.91±0.42b	2.13±0.42a	1.87±0.38a	1.76±0.35a
EE-AD (µm)	13.42±2.29b	15.26±2.86a	13.96±3.26a	13.74±2.19a	16.33±2.94b	17.80±4.49a	15.04±1.49a	15.43±2.67a
EE-AB (µm)	11.39±2.53b	13.25±1.91a	9.61±1.97a	9.51±2.30a	11.20±1.51a	11.43±2.11a	11.13±1.27a	10.72±1.49a
DCFE-AD(n/mm ²)	1986.66±298.5a	2558.59±279.56a	1900±320.28a	1995.08±364.82a	1797.66±417.88a	1592.51±362.35b	2749.47±528.11a	2162.92±382.49b
DCFE-AB(n/mm ²)	2006.43±312.74b	3020.70±309.40a	-	-	3030.87±786.37a	3032.39±572.74a	4749.47±805.84a	4520.81±393.66a
DE-AD (n/mm ²)	0	0	12.39±14.55a	16.25±17.87a	0	0	0	0
DE-AB (n/mm ²)	171.46±26.58b	217.07±41.00a	-	-	513.91±103.99a	476.14±115.00a	708.07±90.63a	577.54±106.24b
IE-AD	0	0	0.007±0.009a	0.009±0.011a	0	0	0	0
IE-AB	0.07±0.01a	0.06±0.009b	-	-	0.14±0.03a	0.13±0.02b	0.13±0.05a	0.11±0.02b
DT-AD (n/mm ²)	34.85±12.61b	65.49±19.61a	17.54±6.63a	18.36±6.20a	9.59±5.05a	10.76±7.68a	0.70±2.12a	0.46±1.49a
DT-AB (n/mm ²)	36.72±11.19b	62.22±23.83a	-	-	9.59±5.96a	8.88±4.73a	3.39±4.06a	3.39±4.45a
IT-AD	0.01±0.004b	0.02±0.005a	0.009±0.003a	0.009±0.002a	0.005±0.003a	0.006±0.004a	0.0002±0.0006a	0.0002±0.0007a
IT-AB	0.01±0.006a	0.01±0.005a	-	-	0.002±0.001a	0.002±0.001a	0.0006±0.0007a	0.0006±0.0008a
NDVI	0.8396±0.03a	0.8535±0.01a	0.8220±0.015a	0.8248±0.01a	0.8126±0.01a	0.8117±0.01a	0.8615±0.04a	0.8569±0.021a

Quando comparados os parâmetros anatômicos foliares entre a AP e a AR, foram identificadas diferenças significativas na face adaxial das folhas de *P. pyramidalis* para a espessura da cutícula e da epiderme, e para a densidade e índice de tricomas (Tabela 2, Figura 10). A densidade de células fundamentais da epiderme não mostrou diferença estatística entre as áreas para esta espécie (Tabela 2, Figura 10). Com relação à densidade e índice de estômatos na face adaxial, *P. pyramidalis* não apresentou essa estrutura em nenhuma das unidades amostradas, não apresentando assim diferença para estes parâmetros (Tabela 2). Na face abaxial da epiderme diferiram significativamente a espessura da cutícula e da epiderme, a densidade de células fundamentais da epiderme, a densidade e índice de estômatos, e a densidade de tricomas (Tabela 2, Figura 10). Em *P. pyramidalis* todos esses parâmetros apresentaram maiores valores médios na AR, exceto o índice de estômatos que foi maior na AP (Tabela 2). No mesofilo, foram encontradas diferenças apenas com relação à espessura do parênquima esponjoso de *P. pyramidalis*, que mostrou maiores valores na AR, não sendo encontradas diferenças na espessura do parênquima paliçádico e do mesofilo (Tabela 2, Figura 10).

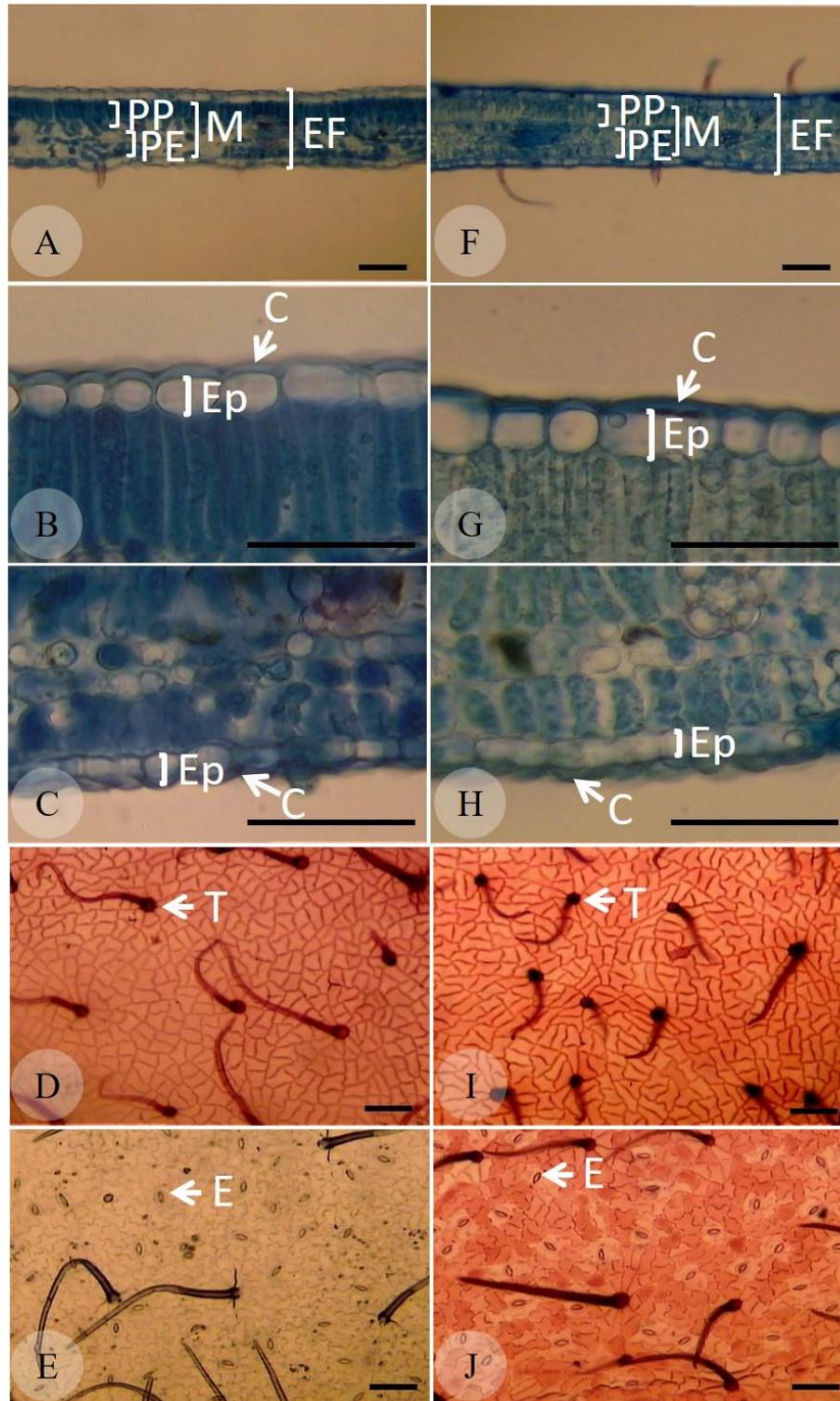


Figura 10 - Secções transversais e paradérmicas, sob microscopia óptica, de folhas de indivíduos de *Poincianella pyramidalis* Tul. estabelecidos em áreas de vegetação de caatinga preservada e perturbada em processo de regeneração no semiárido brasileiro. A, B, C, D, E: Área Preservada; F, G, H, I, J: Área em Regeneração; PP: parênquima paliçádico; PE: parênquima esponjoso; M: mesófilo; EF: espessura foliar; Ep: epiderme; C: cutícula; E: estômato; T: tricoma. Barras: 50 μ m.

Na anatomia foliar de *C. blanchetianus*, os parâmetros que mostraram diferença entre a AP e a AR foram espessura da cutícula nas faces adaxial e abaxial da epiderme, espessura

do mesofilo e espessura dos parênquimas paliçádico e esponjoso (Tabela 2, Figura 11). Para a espessura da cutícula nas faces abaxial e adaxial da epiderme os maiores valores médios se apresentaram nos indivíduos da AP (Tabela 2, Figura 11). As medidas de espessura do mesofilo e espessura dos parênquimas paliçádico e esponjoso mostraram maiores valores médios nos indivíduos estabelecidos na AR (Tabela 2, Figura 11). Os demais parâmetros analisados não mostraram diferença para *C. blanchetianus* entre as áreas estudadas (Tabela 2). As mensurações referentes à densidade de células fundamentais da epiderme, e densidade e índice de estômatos e tricomas não puderam ser realizadas na face abaxial da epiderme foliar de *C. blanchetianus* em virtude do elevado número de tricomas presente nesta face epidérmica. Os tricomas impediram a visualização e contagem das células presentes na face abaxial das folhas desta espécie (Figura 11).

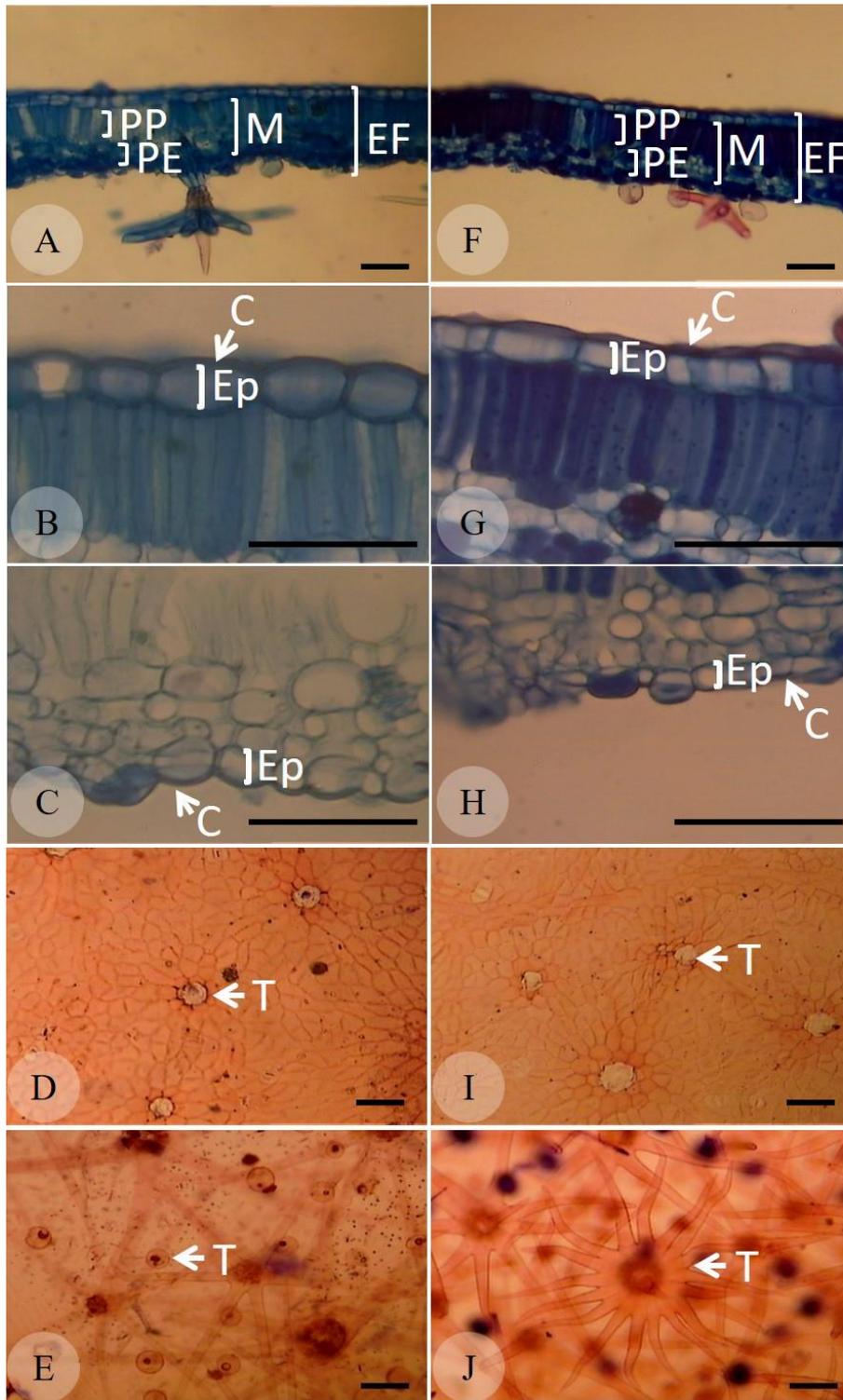


Figura 11 - Secções transversais, sob microscopia óptica, de folhas de indivíduos de *Croton blanchetianus* Baill. estabelecidos em áreas de vegetação de caatinga preservada e perturbada em processo de regeneração no semiárido brasileiro. A, B, C, D, E: Área Preservada; F, G, H, I, J: Área em Regeneração; PP: parênquima paliçádico; PE: parênquima esponjoso; M: mesofilo; EF: espessura foliar; Ep: epiderme; C: cutícula; E: estômato; T: tricoma. Barras: 50 μ m.

Em *M. urundeuva*, os parâmetros anatômicos que mostraram diferença significativa na face adaxial foram a espessura da cutícula e da epiderme e a densidade de células

fundamentais (Tabela 2, Figura 12). Para estes parâmetros, a espessura da cutícula apresentou maiores valores médios nos indivíduos da AR, e a espessura da epiderme e densidade de células fundamentais mostrou os maiores valores nos indivíduos da AP (Tabela 2, Figura 12). Na face abaxial apenas a espessura da cutícula e o índice de estômatos diferiram significativamente entre as áreas, com os maiores valores médios apresentados na AR e na AP, respectivamente (Tabela 2, Figura 12). O mesofilo de *M. urundeuva* variou significativamente quanto à sua espessura, e quanto à espessura dos parênquimas paliçádico e esponjoso, mostrando maiores valores médios na AR (Tabela 2, Figura 12).

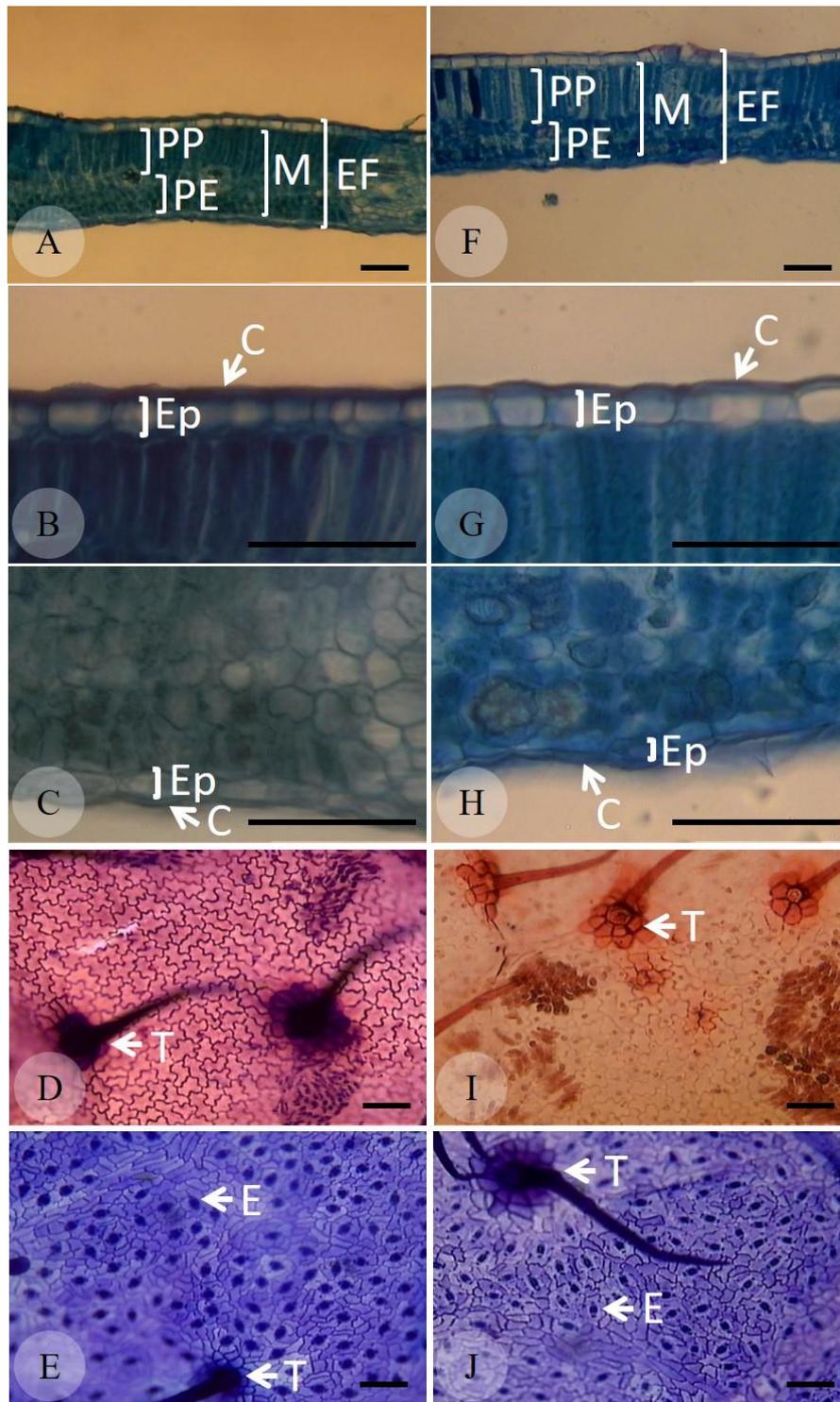


Figura 12 - Secções transversais, sob microscopia óptica, de folhas de indivíduos de *Myracrodruon urundeuva* (Engl.) Fr. All. estabelecidos em áreas de vegetação de caatinga preservada e perturbada em processo de regeneração no semiárido brasileiro. A, B, C, D, E: Área Preservada; F, G, H, I, J: Área em Regeneração; PP: parênquima paliádico; PE: parênquima esponjoso; M: mesófilo; EF: espessura foliar; Ep: epiderme; C: cutícula; E: estômato; T: tricoma. Barras: 50µm.

Os parâmetros da anatomia das folhas de *S. brasiliensis* que mostraram diferença entre a AP e a AR na face adaxial foram a espessura da cutícula e a densidade de células fundamentais da epiderme, com maiores valores médios na AP e na AR, respectivamente

(Tabela 2, Figura 13). Na face abaxial, diferiram entre as áreas a densidade e índice de estômatos, com maiores valores médios encontrados nos indivíduos estabelecidos na AP (Tabela 2, Figura 13). Para o mesofilo, foi identificada diferença significativa para sua espessura total e para a espessura dos parênquimas paliçádico e esponjoso, sendo os maiores valores encontrados na AP (Tabela 2, Figura 13). Os demais parâmetros avaliados não diferiram entre as áreas estudadas (Tabela 2).

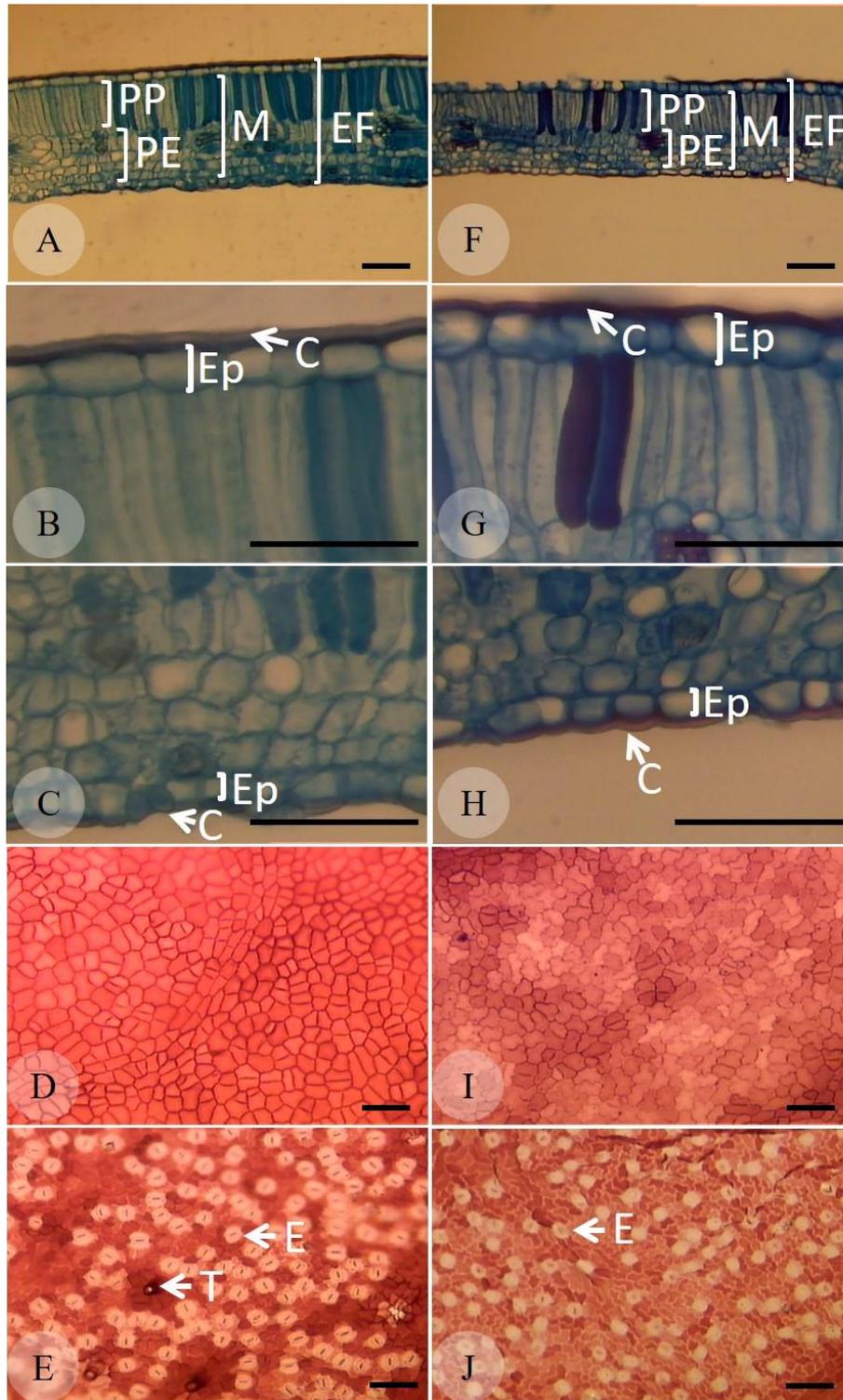


Figura 13 - Secções transversais, sob microscopia óptica, de folhas de indivíduos de *Schinopsis brasiliensis* Engl. estabelecidos em áreas de vegetação de caatinga preservada e perturbada em processo de regeneração no semiárido brasileiro. A, B, C, D, E: Área Preservada; F, G, H, I, J: Área em Regeneração; PP: parênquima paliçádico; PE: parênquima esponjoso; M: mesofilo; EF: espessura foliar; Ep: epiderme; C: cutícula; E: estômato; T: tricoma. Barras: 50 μ m.

Os parâmetros morfoanatômicos avaliados em conjunto através da PERMANOVA (one-way), mostraram que a configuração morfoanatômica foliar diferiu entre a AP e a AR

apenas em *P. Pyramidalis* (pseudo-F = 13.46; p = 0.0001), não diferindo em *C. blanchetianus* (pseudo-F = 2.17; p = 0.121), *M. urundeuva* (pseudo-F = 1.59; p = 0.152), e *S. brasiliensis* (pseudo-F = 1.70; p = 0.144).

Na análise de componentes principais (PCA), em *P. pyramidalis* os dois primeiros eixos concentraram 70.69% da variabilidade total, com os eixos PC1 e PC2 explicando 56.03% e 14.66% da variação, respectivamente. Na avaliação bidimensional do gráfico para esta espécie observa-se o agrupamento das amostras oriundas da AP ao lado esquerdo e da AR ao lado direito (Figura 14). Na PC1 as variáveis que mais contribuíram positivamente para a segregação das amostras foram a densidade de tricomas nas faces adaxial e abaxial da epiderme foliar, indicando que as amostras situadas na faixa positiva da PC1 do gráfico, da AR, tiveram os maiores valores para esses parâmetros (Tabela 3). As amostras da AP, situadas ao lado esquerdo, tiveram menores valores para estes parâmetros (Tabela 3). Ao adicionar a PC2 ao gráfico, a espessura do mesofilo e do parênquima paliçádico foram as variáveis que mais contribuíram para a segregação das amostras, indicando que as amostras situadas na faixa positiva da PC2 apresentaram maiores valores para estas variáveis (Tabela 3).

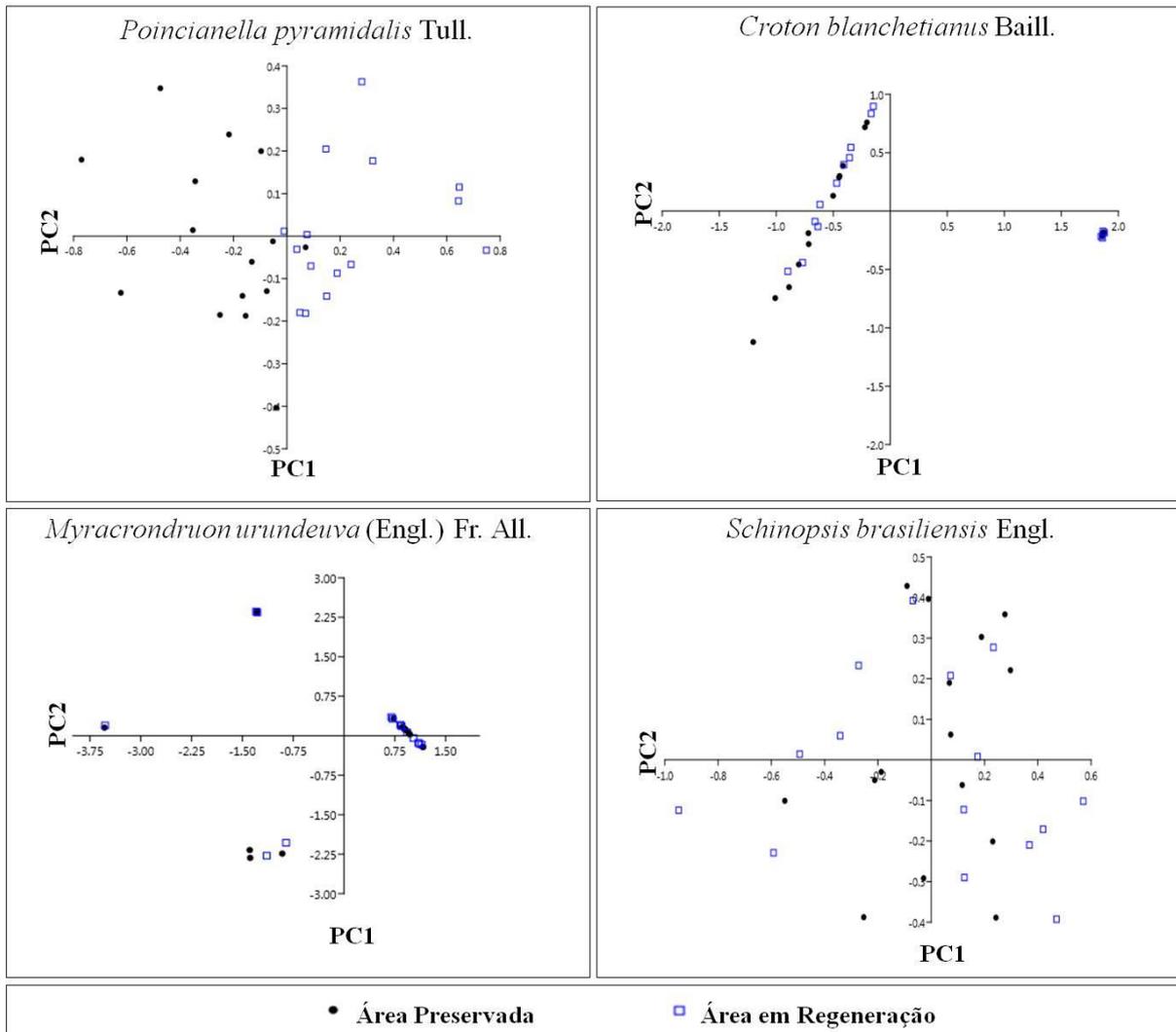


Figura 14 - Gráfico da Análise dos Componentes Principais (ACP) para os dois primeiros eixos gerados, CP1 e CP2, para os indivíduos de *Poincianella pyramidalis* Tull., *Croton blanchetianus* Baill., *Myracrodruon urundeuva* (Engl.) Fr. All. e *Schinopsis brasiliensis* Engl. estabelecidos em áreas de vegetação de caatinga preservada e perturbada em processo de regeneração no semiárido brasileiro.

Tabela 3 - Resultados da Análise dos Componentes Principais (ACP) dos dois primeiros eixos gerados, PC1 e PC2 para os indivíduos de *Poincianella pyramidalis* Tull., *Croton blanchetianus* Baill., *Myracrodruon urundeuva* (Engl.) Fr. All. e *Schinopsis brasiliensis* Engl. estabelecidos em áreas de vegetação de caatinga preservada e perturbada em processo de regeneração no semiárido brasileiro. AD: face adaxial; AB: face abaxial; EF: espessura foliar; EM: Espessura mesofilo; EPP: Espessura parênquima paliçádico; EPE: Espessura parênquima esponjoso; EC: Espessura cutícula; EE: Espessura epiderme; DCFE: Densidade células fundamentais da epiderme; DE: Densidade estômatos; IE: Índice estômatos; DT: Densidade tricomas; IT: Índice tricomas. “-”: valor ausente.

Parâmetros	<i>Poincianella pyramidalis</i> Tul.		<i>Croton blanchetianus</i> Baill.		<i>Myracrodruon urundeuva</i> (Engl.) Fr. All.		<i>Schinopsis brasiliensis</i> Engl.	
	PC1	PC2	PC1	PC2	PC1	PC2	PC1	PC2
Área total (cm ²)	-0.31	0.09	-0.04	0.02	-0.10	-0.19	0.00	-0.03
Largura (cm)	-0.16	-0.02	-0.02	0.00	-0.07	-0.11	0.01	0.00
Comprimento(cm)	-0.15	0.00	-0.01	0.04	-0.02	-0.11	-0.01	-0.02
EF (µm)	0.05	0.34	-0.02	-0.01	-0.02	-0.06	0.01	-0.01
EM (µm)	0.05	0.40	-0.02	-0.02	-0.01	-0.06	0.01	-0.01
EPP (µm)	0.02	0.55	-0.02	-0.02	0.02	-0.06	0.02	-0.01
EPE (µm)	0.09	0.29	0.00	0.00	-0.04	-0.07	0.00	-0.01
EC-AD (µm)	0.05	0.10	-0.05	-0.04	0.05	-0.03	0.00	-0.02
EC-AB (µm)	0.05	0.16	-0.02	-0.04	0.02	-0.07	0.01	0.00
EE-AD (µm)	0.10	0.30	-0.03	-0.01	-0.06	-0.03	0.01	0.00
EE-AB (µm)	0.06	0.27	-0.01	0.00	-0.02	-0.01	0.01	-0.01
DCFE-AD(n/mm ²)	0.18	-0.06	0.01	-0.10	0.06	-0.01	0.01	-0.04
DCFE-AB(n/mm ²)	0.22	0.17	-	-	0.09	0.04	0.00	-0.01
DE-AD (n/mm ²)	0.00	0.00	-0.36	0.92	0.00	0.00	0.00	0.00
DE-AB (n/mm ²)	0.18	0.15	-	-	0.06	0.08	0.00	0.01
IE-AD	0.00	0.00	0.93	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00
IE-AB	-0.03	-0.01	-	-	-0.02	0.04	0.01	0.01
DT-AD (n/mm ²)	0.56	-0.11	-0.03	-0.08	0.72	-0.11	-0.07	-0.09
DT-AB (n/mm ²)	0.46	-0.07	-	-	0.12	0.68	0.14	-0.05
IT-AD	0.37	-0.05	-0.04	0.01	0.65	-0.10	0.71	0.69
IT-AB	0.24	-0.24	-	-	0.04	0.65	-0.68	0.72

Na PCA de *C. blanchetianus* a PC1 e PC2 concentraram 92.86% da variabilidade total, com estes eixos explicando 76.82% e 16.04% respectivamente. O gráfico mostra a sobreposição das amostras da AP e da AR, não apresentando tendência de segregação que individualize as amostras destas áreas (Figura 14). Na PC1 e na PC2 as variáveis positivas que melhor explicam a segregação das amostras são a densidade e o índice de estômatos na face adaxial, indicando que as amostras situadas na faixa positiva destes dois eixos tiveram maiores valores para estes parâmetros (Tabela 3).

Para *M. urundeuva* os eixos PC1 e PC2 da PCA explicaram 40.91% e 21.65% da variabilidade total dos dados, respectivamente, explicando juntos 62.56% (Tabela 3). O gráfico gerado para PCA de *M. urundeuva* mostra a maior parte das amostras concentrada ao lado direito do eixo (Figura 14). Considerando que na PC1 as variáveis positivas que melhor explicam a segregação das amostras foram a densidade e o índice de tricomas na face adaxial da epiderme, os amostras localizadas no lado positivo deste eixo apresentam maiores valores para estas variáveis (Tabela 3). Na PC2 as variáveis positivas que melhor explicam a segregação das amostras foram a densidade e o índice de tricomas na face abaxial da epiderme, indicando maiores valores para as amostras do lado positivo deste eixo (Tabela 3).

Em *S. brasiliensis*, a PC1 e PC2 da PCA concentraram juntas 94,74% da variabilidade total, com estes mesmos eixos explicando a variabilidade em 51.1% e 43.64%, respectivamente. No gráfico pode ser observado que as amostras da AP e AR se sobrepuseram, de modo que não houve separação visível entre as amostras destas áreas (Figura 14). Na PC1 as variáveis que mais contribuíram positivamente para a segregação das amostras foram o índice de tricomas na face adaxial e a densidade de tricomas na face abaxial da epiderme (Tabela 3). Na CP2 as variáveis de maior contribuição positiva foram o índice de tricomas na face adaxial e abaxial (Tabela 3).

4.2.2 Reflectância foliar e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

Ao comparar os dados de reflectância foliar entre AP e AR, foram encontradas diferenças significativas para *P. pyramidalis* ($Z = -4.08$; $p = 0.0001$), *M. urundeuva* ($Z = -6.25$; $p = 0.0001$), e *S. brasiliensis* ($Z = -7.32$; $p = 0.0001$). Apenas *C. blanchetianus* não diferiu estatisticamente entre as áreas ($Z = -1.48$; $p = 0.14$). Os valores de reflectância espectral entre os indivíduos das espécies estudadas na AP e AR variaram em determinados pontos das curvas geradas (Figura 15). Em *P. pyramidalis*, as curvas de reflectância mostraram valores médios maiores para os indivíduos da AP, aproximadamente até o

comprimento de 460 nm (Figura 7). A partir desse comprimento de onda os valores das médias de reflectância para os indivíduos desta espécie se igualaram entre as áreas estudadas, com poucas oscilações. Na região do infravermelho, pode-se observar maiores valores para os indivíduos de *P. pyramidalis* presentes na AP (Figura 15).

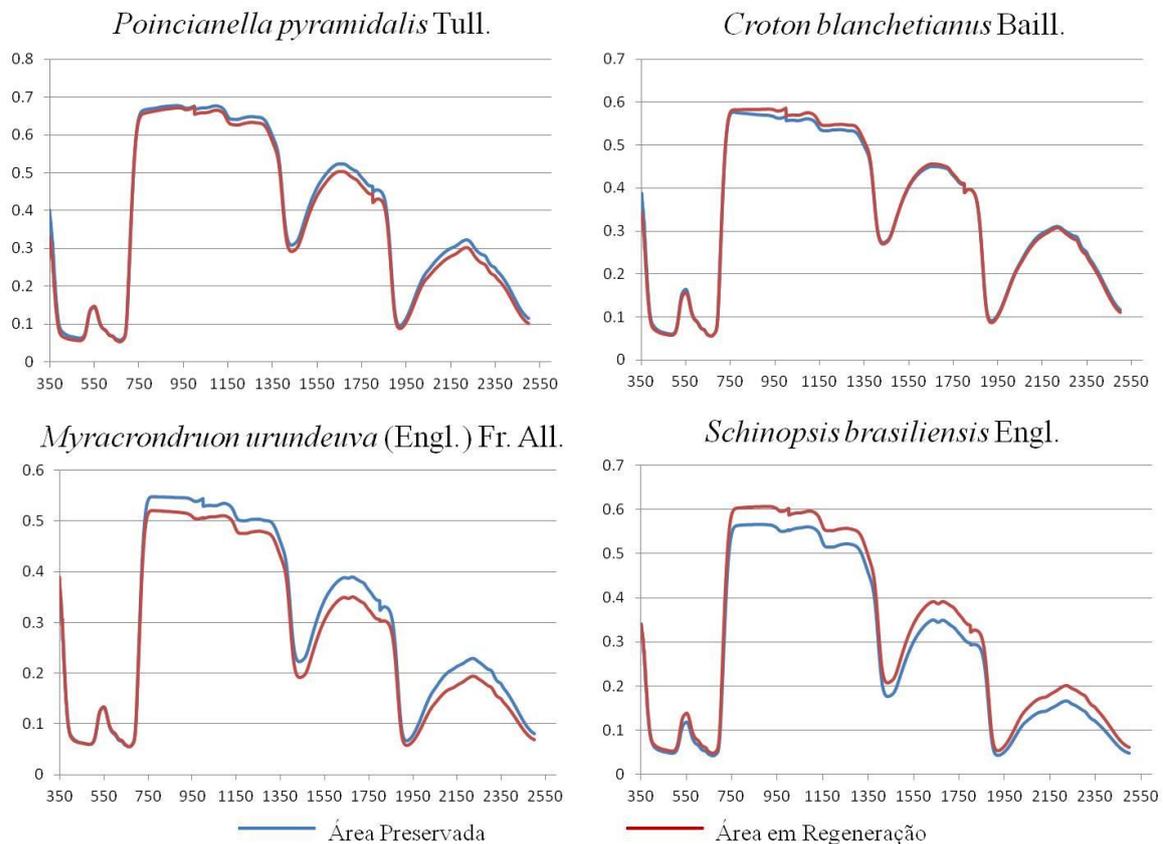


Figura 15 - Curvas de reflectância foliar apresentando valores médios por comprimento de onda (350 a 2500 nm) para os indivíduos de *Poincianella pyramidalis* Tull., *Croton blanchetianus* Baill., *Myracrodruon urundeuva* (Engl.) Fr. All. e *Schinopsis brasiliensis* Engl. estabelecidos em áreas de vegetação de caatinga preservada e perturbada em processo de regeneração no semiárido brasileiro.

Em *C. blanchetianus* o gráfico das curvas de reflectância mostrou sutis diferenças entre os indivíduos da AP e AR, com reflectância mais elevada na AP até o comprimento de 414 nm (Figura 15). Após esse comprimento, a reflectância apresenta valores bastante semelhantes entre as áreas, tornando a ser mais elevada na AP entre os comprimentos 515 nm e 544 nm (Figura 15). Na região do infravermelho a AP mostra valores médios maiores que a ADE (Figura 15). Para *M. urundeuva* pode-se observar valores mais elevados na curva de reflectância da AR nos primeiros comprimentos de onda avaliados (Figura 15). Em seguida, os valores mostram-se similares para esta espécie entre as áreas estudadas ao longo de toda a região visível, com poucas oscilações, passando a apresentar diferenças a partir de 716 nm, na região do infravermelho, com maiores valores para os indivíduos estabelecidos na AP (Figura 15).

A reflectância espectral mostrou-se similar nos primeiros comprimentos de onda entre as áreas avaliadas para *S. brasiliensis* (Figura 15). No entanto pode-se observar na região do visível, entre os comprimentos 500 e 642 nm, maiores valores de reflectância nos indivíduos da AR (Figura 15). A partir de 643 nm os valores se igualam novamente, com pequenas oscilações, voltando a apresentar-se mais elevados nos indivíduos da AR no comprimento 691 nm, seguindo este comportamento ao longo de toda a região infravermelha nesta espécie (Figura 15).

Com relação ao Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), utilizado para avaliar a resposta espectral das folhas, não foram encontradas diferenças significativas entre AP e AR para nenhuma das espécies avaliadas (Tabela 2).

4.3 Discussão

Os diversos parâmetros foliares analisados revelaram algumas diferenças entre os indivíduos de *Poincianella pyramidalis* Tull., *Croton blanchetianus* Baill., *Myracrodruon urundeuva* (Engl.) Fr. All. e *Schinopsis brasiliensis* Engl. estabelecidos em áreas de vegetação de caatinga preservada e perturbada em processo de regeneração no semiárido brasileiro. Diferenças na vegetação de áreas com florestas preservadas e perturbadas em processo de regeneração natural também foram identificadas em outras pesquisas nesta mesma região (e.g. LOPES et al., 2012; ARAÚJO et al., 2017). Esses autores apontaram como causa das variações na vegetação as diferenças nas condições ambientais apresentadas entre estas áreas. No local de estudo, Araújo et al. (2017) registraram diferenças microclimáticas, incluindo menores valores de temperatura, velocidade dos ventos e incidência luminosa, além de maior umidade na Área Preservada, quando comparada à Área em Regeneração. Essas diferenças ambientais também podem ter promovido as variações na morfoanatomia e no comportamento espectral observados nas espécies avaliadas no presente estudo.

No conjunto de dados referente à morfoanatomia, a diferença observada para *P. pyramidalis* pode ter decorrido da elevada plasticidade fenotípica apresentada por esta espécie (cf. FALCÃO et al., 2015). Esta elevada plasticidade foi observada por Falcão et al. (2015) que avaliaram árvores de *P. pyramidalis* e encontraram diferenças intraespecíficas em resposta às condições ambientais de florestas em diferentes estágios de regeneração. Apesar das outras três espécies estudadas não terem mostrado diferenças no conjunto de dados entre as duas áreas, a análise individual de alguns parâmetros morfológicos e anatômicos revelou diferenças intraespecíficas para todas as espécies.

A presença de folhas menores em *P. pyramidalis* e *C. blanchetianus*, e mais espessas em *C. blanchetianus* e *M. urundeuva* na AR, podem representar adaptações ecofisiológicas. A diminuição da área e aumento da espessura foliar representam respostas da vegetação à elevada incidência luminosa e temperatura, fatores que se intensificam em áreas em processo de regeneração devido à descontinuidade do dossel e menor porte das espécies (CATONI e GRATANI, 2014; LI e BÃO, 2014). Essa redução da área foliar confere à planta a capacidade de reduzir a taxa entre a razão fotossíntese e respiração, reduzindo o gasto energético de transpiração e aumentando o ganho de carbono, o que permite o crescimento e sobrevivência da planta diante destas condições adversas (CATONI e GRATANI, 2014).

Os diversos parâmetros da anatomia foliar mostraram diferentes padrões de variação entre as espécies. O espessamento da cutícula, epiderme e parênquimas encontrado em todas as espécies representa uma importante resposta das plantas à elevada intensidade luminosa e temperatura e à baixa umidade, protegendo a estrutura das folhas e evitando a perda de água (e.g. HANBA et al., 2002; CATONI et al., 2012; REALPE-GOMEZ et al., 2013). Estas condições encontradas na AR incitam respostas nos vegetais que indicam sua resiliência frente à tais condições estressantes (cf. Realpe-Gomez et al., 2013). No entanto, embora estas características ambientais estressantes sejam maiores em áreas perturbadas em regeneração (ARAÚJO et al., 2017), para *Schinopsis brasiliensis* Engl. epiderme e parênquima apresentaram maiores valores na AP. Ademais, a cutícula também foi mais espessa nesta área em *C. blanchetianus* e *M. urundeuva*. O espessamento da cutícula, parênquima e epiderme na AP podem representar uma estratégia destas plantas contra a herbivoria, uma vez que estas estruturas atuam como barreiras mecânicas contra a predação (cf. CORREA et al., 2008). Além disso, as taxas de herbivoria tendem a ser mais intensas em áreas de estágio sucessional mais avançados, estimulando as plantas destes locais no desenvolvimento de estratégias para a defesa (MOREIRA et al., 2013).

O índice estomático geralmente apresenta menores valores em áreas com menor disponibilidade de água (HAMANISHI et al., 2012). Essa característica pode estar relacionada aos menores valores deste índice observados na AR, visto que segundo Araújo et al. (2017) esta área apresenta menor umidade em relação à AP. Além disso, a maior temperatura e incidência luminosa observadas por estes autores na AR podem contribuir para condições de menor umidade no local.

A reflectância espectral foliar revelaram diferenças entre a AR e AP para *P. pyramidalis*, *M. urundeuva* e *S. brasiliensis*, podendo essas diferenças terem decorrido das variações morfoanatômicas encontradas neste estudo, uma vez que as variações estruturais

influenciam a reflectância foliar (e.g. KNIPLING, 1970; MOHAMED et al., 2000). Apesar do NDVI ser amplamente empregado para o monitoramento de regiões semiáridas (e. g. OLEXA e LAWRENCE, 2014), ele não representou um bom indicador vegetacional nesta pesquisa, uma vez que não foram observadas diferenças significativas entre a AP e AR para nenhuma das espécies.

Nesse estudo, na AR, além do aumento da incidência luminosa foi observado o aumento do parênquima paliçádico e esponjoso, características que interferem no espectro de reflectância foliar. A relação entre o espectro de reflectância e o parênquima foi documentada por Ourcival et al. (1999), que identificaram forte correlação do mesófilo e espessura do parênquima paliçádico com o espectro de reflectância. Na região visível do espectro de luz, foram encontrados valores similares para as espécies entre a AP e AR. Essa região do espectro geralmente apresenta baixa reflectância foliar, em virtude da absorção realizada pelos pigmentos fotossintéticos encontrados nas células do parênquima clorofiliano presente no mesófilo (PENUELAS e FILELLA, 1998). Com relação à reflectância na região do infravermelho, foi evidenciada maior variação nas espécies entre as áreas avaliadas. Knapp e Carter (1998) observaram a relação entre a espessura foliar e a reflectância na região do infravermelho próximo do espectro. Para a região do infravermelho de onda curta, Ceccato et al. (2001) também identificaram a estrutura interna como um dos parâmetros responsáveis pelas variações nos valores de reflectância foliar.

4.4 Conclusão

A hipótese de que há diferença na arquitetura morfoanatômica foliar de indivíduos da mesma espécie, quando estabelecidos em área preservada e perturbada em processo de regeneração, foi atendida apenas para a espécie *Poincianella pyramidalis*. No entanto, ao comparar os parâmetros morfoanatômicos individualmente, foram observadas diferenças intraespecíficas entre AP e AR para diversos parâmetros, revelando a plasticidade fenotípica das espécies avaliadas. A segunda hipótese foi confirmada para *P. pyramidalis*, *M. urundeuva* e *S. brasiliensis*, sendo essas diferenças na reflectância foliar indicadoras de resposta às condições de estresse ambiental. Já a terceira hipótese foi refutada para todas as espécies avaliadas, revelando que, apesar do NDVI ser um índice de vegetação amplamente empregado em estudos no semiárido, nesta pesquisa ele não conseguiu representar as diferenças intraespecíficas observadas na reflectância espectral das espécies em estudo. Diante disso, apesar de terem sido visualizados caracteres morfoanatômicos e espectrais

indicadores de respostas ecofisiológicas, cada espécie apresentou um padrão de resposta diferenciado, impossibilitando a determinação de parâmetros que possam ser utilizados como bioindicadores únicos para as espécies estudadas no semiárido brasileiro.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho evidenciou o papel das pessoas e das mudanças ambientais na modificação da paisagem no semiárido brasileiro. As atividades humanas ligadas, principalmente, à urbanização e à migração de grupos humanos, bem como as mudanças climáticas e suas consequências, mostraram-se como importantes fatores influenciadores de mudanças na paisagem do semiárido. Desse modo, o estudo de tais variáveis mostrou-se imprescindível para a compreensão da dinâmica de modificação espacial e temporal e consequente construção das paisagens.

Ao direcionar as análises para as respostas da vegetação às mudanças ambientais e na paisagem como um todo, foi visto que as mudanças espaciais e temporais em grande escala mostraram ser influenciadas principalmente pelas variáveis climáticas na paisagem estudada. Em nível mais específico, avaliando parâmetros foliares e espectrais em espécies vegetais da caatinga estabelecidas em área preservada e perturbada em processo de regeneração, também foram observadas mudanças em função provavelmente das alterações ambientais decorrentes da perturbação promovida pelas pessoas no semiárido brasileiro. Ao testar a hipótese de que há diferença na arquitetura morfoanatômica foliar de indivíduos da mesma espécie, quando estabelecidos em áreas de caatinga preservada e perturbada em processo de regeneração no semiárido brasileiro, esta foi atendida apenas para a espécie *Poincianella pyramidalis*. No entanto, ao comparar os parâmetros morfoanatômicos individualmente, foram observadas diferenças intraespecíficas entre AP e AR para diversos parâmetros, revelando a plasticidade fenotípica das espécies avaliadas. A segunda hipótese foi confirmada para *P. pyramidalis*, *M. urundeuva* e *S. brasiliensis*, sendo essas diferenças na reflectância foliar indicadoras de resposta às condições de estresse ambiental. Já a terceira hipótese foi refutada para todas as espécies avaliadas, revelando que, apesar do NDVI ser um índice de vegetação amplamente empregado em estudos no semiárido, nesta pesquisa ele não conseguiu representar as diferenças intraespecíficas observadas na reflectância espectral das espécies em estudo. Diante disso, nota-se que cada espécie apresentou um padrão de resposta diferenciado, o que impossibilita a determinação de parâmetros que possam ser utilizados como bioindicadores únicos para as espécies estudadas no semiárido brasileiro, no entanto foram encontrados diversos caracteres morfoanatômicos e espectrais que mostraram diferenças entre as áreas avaliadas, podendo ser utilizados como indicadores de respostas ecofisiológicas em estudos semelhantes ao proposto.

REFERÊNCIAS

- ALCOFORADO-FILHO, F.G.; SAMPAIO, E.V.S.B.; RODAL, M.J.N. Florística e fitossociologia de um remanescente de vegetação caducifólia espinhosa arbórea em Caruaru, Pernambuco. **Acta Botanica Brasilica**, v. 17, p. 287-303, 2003.
- ALMEIDA, G.M.A.; RAMOS, M.A.; ARAÚJO, E.L.; BALDAUF, C.; ALBUQUERQUE, U.P. Human perceptions of landscape change: The case of a monodominant forest of *Attalea speciosa* Mart ex. Spreng (Northeast Brazil). **Ambio**, v. 45, n. 4, p. 458-67, 2016.
- ALLEN, R. G.; TASUMI, M.; TREZZA, R. **SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms for Land). Advance Training and Users Manual – Idaho Implementation**, version 1.0. 2002. 97p.
- 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.
- ANDRADE-LIMA, D. Tipos de Florestas de Pernambuco. Anais da Associação de Geógrafos Brasileiros. v. 12, p. 69-85, 1961.
- ARAÚJO, V.K.R.; SANTOS, J.M.F.F.; ARAÚJO, E.L.; PIMENTEL, R.M.M.; SILVA, K.A. Influence of leaf morphometric variations on the growth of seedlings and juveniles of woody species in a semiarid environment. **Brazilian Journal of Botany**, p. 1-10, 2017.
- APAC. Agência Pernambucana de Águas e Clima, 2016. Disponível: <http://www.apac.pe.gov.br/meteorologia/monitoramento-pluvio.php>. Acesso: 10 out. 2016.
- ARRUDA, E.; MELO-DE-PINNA, G.F.; ALVES, M. Anatomia dos órgãos vegetativos de Cactaceae da caatinga pernambucana. **Revista Brasileira de Botânica**, v.28, n.3, p.589-601, 2005.
- BALTZER, J.L; THOMAS, S.C. Leaf Optical Responses to Light and Soil Nutrient Availability in Temperature Deciduous Trees. **American Journal of Botany**,v. 92, n. 2, p. 214–223,2005.
- BARBOSA, D.C.A.; ALVES, J.L.H.; PRAZERES, S.M.; PAIVA, A.M.A. Dados fenológicos de 10 espécies arbóreas de uma área de Caatinga (Alagoinha-PE). **Acta Botanica Brasilica**, v. 3, n. 2, p. 109-117, 1989.
- BERNHARDT-ROMERMANN, M.; GRAY, A.; VANBERGEN, A.J.; BERGE, L.; BOHNER, A.; BROOKER, R.W.; DE BRUYN, L.; DE CINTI, B.; DIRNBOCK, T.; GRANDIN, U.; HESTER, A.J.; KANKA, R.; KLOTZ, S.; LOUCOUGARAY, G.; LUNDIN, L.; MATTEUCCI, G.; MESZAROS, I.; OLAH, V.; PREDA, E.; PREVOSTO, B.; PYKALA, J.; SCHMIDT, W.; TAYLOR, M.E.; VADINEANU, A.; WALDMANN, T. and STADLER, J. Functional traits and local environment predict vegetation responses to disturbance: a pan-European multi-site experiment. **Journal of Ecology**, n. 99, p. 777–787, 2011.
- BOEGER, M.R.T.; WISNIEWSKI, C. Comparação da morfologia foliar de espécies arbóreas de três estádios sucessionais distintos de Floresta Ombrófila Densa (Floresta Atlântica) no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**,n. 26,p. 61-72, 2003.

BRAGA, F.G. Migração Interna e Urbanização no Brasil Contemporâneo: Um estudo da Rede de Localidades Centrais do Brasil (1980/2000). XV Encontro Nacional de Estudos Populacionais, ABEP, Caxambú- MG, Brasil, 2006.

BRITO, P.V.S.; MORAIS, Y.C.B.; FERREIRA, H.S.; SILVA, J.F.; GALVÍNCIO, J.D. Comparative analysis of moisture of vegetation of preserved caatinga areas, irrigated agriculture, and drought. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, v. 2, n. 3, p. 493-498, 2017.

BÜRGI, M.; HERSPERGER, A. M.; SCHNEEBERGER, N. Driving forces of landscape change – current and new directions. *Landscape Ecology*, v.19, n. 2, p. 857–868, 2004.

CARDOZO, F. S.; PEREIRA, G.; SILVA, G. B. S. S.; SILVA, F. B.; SHIMABUKURO, Y. E.; MORAES, E. C. Discriminação de áreas alagadas no Pantanal sul matogrossense a partir de imagens orbitais. In: 2º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Corumbá, Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p. 99-106, 2009.

CARTER, G. A. Primary and Secondary Effects of Water Content on the Spectral Reflectance of Leaves. *American journal of Botany*, v.78, n.7, p. 916-924, 1991.

CARTER, G. A. Responses of Leaf Spectral Reflectance to Plant Stress. *American Journal of Botany*, v. 80, n. 3, p. 239-243, 1993.

CARTER, G. A.; KNAPP, A. K. Leaf optical properties in higher plants: linking spectral characteristics to stress and chlorophyll concentration. *American Journal of Botany*, v.88, n. 4, p. 677–684, 2001.

CARTER, G. A.; MILLER, R. L. Early Detection of Plant Stress by Digital Imaging within Narrow Stress-Sensitive Wavebands. *Remote Sensing of Environment*, n. 50, p. 295-302, 1994.

CASAS, A.; PICKERSGILL, B.; CABALLERO, J.; VALIENTE-BANUET. Ethnobotany and domestication in Xoconochtli, *Stenocereus stellatus* (Cactaceae), in the Tehuacán Valley and La Mixteca Baja, México. *Economic Botany*, v. 51, n.3, p. 279-292, 1997.

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., SILVA, J.M.C. (Eds.), *Ecologia e Conservação da Caatinga*. Ed. Universitária UFPE, Recife, pp. 719–734, 2003.

CATONI R, GRATANI, L. Variations in leaf respiration and photosynthesis ratio in response to air temperature and water availability among Mediterranean evergreen species. *Journal of Arid Environments*, v. 102, p. 82-88, 2014.

CATONI, R.; GRATANI, L.; VARONE, L. Physiological, morphological and anatomical trait variations between winter and summer leaves of *Cistus* species. *Flora*, v. 207, p. 442-449, 2012.

CAYUELA, L.; REY BENAYAS, J.M.; ECHEVERRIA, C. Clearance and fragmentation of tropical montane forests in the Highlands of Chiapas, Mexico (1975–2000). **Forest Ecology and Management**, n. 226, p. 208–218, 2006.

CECCATO, P.; FLASSE, S.; TARANTOLA, S.; JACQUEMOUD, S.; GREGOIRA, J. Detecting vegetation leaf water content using reflectance in the optical domain. **Remote Sensing of Environment**, n. 77, p. 22–33, 2001.

CHAERLE, L.; VAN DER STRAETEN, D. Imaging techniques and the early detection of plant stress. **Trends Plant Science**, v. 5, n. 11, p. 495-501, 2000.

CHAERLE, L.; VAN DER STRAETEN, D. Seeing is believing: imaging techniques to monitor plant health. **Biochimica et Biophysica Acta** n. 1519, p. 153-166, 2001.

CHAGAS, M. G. S.; GALVÍNCIO, J. D.; PIMENTEL, R. M. M. Avaliação da dinâmica espectral da vegetação de caatinga em arcoverde, Pernambuco. **Revista de Geografia**, v. 25, n. 2, p. 45-60, 2008.

CHEN, X.; ZHAO, H.; LI, P.; YIN, Z. Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes. **Remote Sensing of Environment**, v. 104, p. 133-146, 2006.

CIDIN, R.C.P.J.; Silva, R.S. Pegada ecológica: instrumento de avaliação dos impactos antrópicos no meio natural. **Estudos Geográficos**, v. 2, n. 1, p. 43-52, 2004.

CLEMENT, R. C. Melhoramento de espécies nativa. In: **Recursos genéticos e melhoramento de plantas**, NASS, L. L.; VALOIS, A. C. C.; MELO, I.S.; VALADARES-INGLIS, M.C. Brasília. Embrapa, p. 423-441, 2001.

CLEMENT, C.R.; DENEVAN, W.M.; HECKENBERGER, M.J.; JUNQUEIRA, A.B.; NEVES, E.G.; TEIXEIRA, W.G.; WOODS, W.I. The domestication of Amazonia before European conquest. **Proceedings of the Royal Society B**, n.282, p. 1-9, 2015.

CLIMANÁLISE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). 2017. Episódios El Niño/Oscilação Sul durante a década de 1986 a 1996 e suas influências sobre o Brasil. Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE). Disponível: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/cliEsp10a/nino.html>. Acesso: 17 mar. 2017.

COLLIER, C.A.; ALMEIDA NETO, M.S.; ARETAKIS, G.M.A.; SANTOS, R.E.; OLIVEIRA, T.H.; MOURÃO, J.S.; SEVERI, W.; EL-DEIR, A.C.A. Integrated approach to the understanding of the degradation of an urban river: local perceptions, environmental parameters and geoprocessing. **Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine**, v. 11, n. 69, p. 1-13, 2015.

COPPIN, P. R.; BAUER, M. E. Change detection in forest ecosystems with remote sensing imagery. **Remote Sensing Reviews**, v. 13, p. 207–234, 1996.

CORRÊA, P.G.; PIMENTEL, R.M.M.; CORTEZ, S.D.A.; XAVIER, H.S. Herbivoria e anatomia foliar em plantas tropicais brasileiras. **Ciência e Cultura**, v. 60, n. 3, p. 54-57, 2008.

COSTA, V.B.S.; ALMEIDA, G.M.A.; CHAGAS, M.G.S.; PIMENTEL, R.M.M. Indicadores Anatômicos Foliareos Como Estratégias de Defesa Contra Elevada Incidência Luminosa. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 4, n. 2, p. 349-364, 2011.

DELAMÔNICA, P.; LAURANCE, W.F.; LAURANCE, S.G. A Fragmentação da Paisagem, In: OLIVEIRA, A.A. e DALY, D.C. (Eds), **Florestas do Rio Negro**. Schwarcz LTDA, p. 285-301. 2001.

DIJK, A.I.J.M.; BRUIJNZEEL, L.A. Modelling rainfall interception by vegetation of variable density using an adapted analytical model. Part 2 - Model validation for a tropical upland mixed cropping system. **Journal of Hydrology**, n. 247, p. 239-62, 2001.

DIOUF, A.; LAMBIN, E.F. Monitoring land-cover changes in semi-arid regions: remote sensing data and field observations in the Ferlo, Senegal. **Journal of Arid Environments**, v. 48, n. 2, p. 129-148, 2001.

DU, P.; LI, X.; CAO, W.; LUO, Y.; ZHANG, H. Monitoring urban land cover and vegetation change by multi-temporal remote sensing information. **Mining Science and Technology**, n. 20, p. 922-932, 2010.

EASTMAN, J.R. **Guide to GIS and Image Processing**. Clark Laboratory. Clark University, Worcester/MA, USA. 2006. 284p..

ERNSTSON, H.; VAN DER LEE, W.S.E.; REDMAN, C.L.; MEFFERT, D.J.; DAVIS, G.; ALFSEN, C.; ELMQVIST, T. Urban Transitions: On Urban Resilience and Human-Dominated Ecosystems. **AMBIO**, v. 39, p. 531-545, 2010.

FAHMY, G.M. Leaf anatomy and its relation to the ecophysiology of some non-succulent desert plants from Egypt. **Journal of Arid Environments**, n.36, p. 499-525, 1997.

FAHN, A.; CUTLER, D. **Xerophytes**. Gebruder Borntraeger, Berlin. 1992. 176p.

FALCÃO, H.M.; MEDEIROS, C.D.; SILVA, B.L.; SAMPAIO, E.V.; ALMEIDA-CORTEZ, J.S.; SANTOS, M.G. Phenotypic plasticity and ecophysiological strategies in a tropical dry forest chronosequence: A study case with *Poincianella pyramidalis*. **Forest Ecology and Management**, v. 340, p. 62-69, 2015.

FARINA, A. **Principles and methods in landscape ecology; towards a science of landscape**. Springer. 2006. 414p.

FERET, J.; FRANÇOIS, C.; ASNER, G. P.; GITELSON, A. A.; MARTIN, R. E.; BIDEL, L. P. R.; USTIN, S. L.; MAIRE, G.; JACQUEMOUD, S. PROSPECT-4 and 5: Advances in the leaf optical properties model separating photosynthetic pigments. **Remote Sensing of Environment**, n. 112, p. 3030-3043, 2008.

FERNANDEZ, F. **O poema imperfeito: crônicas de biologia e conservação da natureza e seus heróis**. Curitiba: Fundação o Boticário de Proteção à Natureza, 3ed., UFPR, 2004. 280p.

FLORENZANO, T.G. **Imagens de satélites para estudos ambientais**. Oficina de textos, São Paulo, 2002. 16p.

FORMAN, R.T. **Land Mosaics: The Ecology of Landscapes and Regions**. Cambridge University Press. 1995. 632p.

FORMAN, R.T.T.; GODRON, M. **Landscape Ecology**. New York: John Wiley and Sons, 1986. 619 p.

FORMIGONI, M.H.; Xavier, A.C.; Lima, J.S.S. Análise temporal da vegetação na região do nordeste através de dados EVI do MODIS. **Ciência Florestal**, v. 21, n. 1, p. 1-8, 2011.

FRANÇA, L.M.A.; OLIVEIRA, T.H.; PEREIRA, J.A.S.; LINS, T.M.P.; GALVÍNCIO, J.D. Spatial Analysis of Caatinga Vegetation in the Municipality of Ibimirim-PE. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, v. 3, n. 3, p. 59-70, 2013.

GALVÍNCIO, J. D.; PIMENTEL, R. M. M. Leaf spectral behavior and chlorophyll content of *Mimosa hostilis* canopy in a semiarid environment. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, n. 01, p. 001-09, 2012.

GALVÍNCIO, J.D.; MOURA, M.S.S.B.; SILVA, T.F.; SILVA, B.B.; NAUE, C.R. Relationship Between of Canopy and Leaf Spectral Response in Savanna. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 06, n. 2, p. 341-355, 2013.

GALVÍNCIO, J. D.; NAUE, C. R.; ANGELOTTI, F.; MOURA, M. S. B. *Vitis vinifera* spectral response to the increase of CO₂. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, n. 01, p. 001-018, 2011.

GAO, B. C. NDWI – A Normalized Difference Water Index for remote sensing of vegetation liquid water from space. **Remote Sensing of Environment**, v. 58, p. 257-266, 1996.

GATES, D. M.; KEEGAN, H. J.; SCHLETER, J.C.; WEIDNER, V.R. Spectral Properties of Plants. **Applied Optics**, v. 4, n. 1, p. 11-20, 1965.

GILABERT, M.A.; GONZÁLEZ-PIQUERAS, J.; GARCÍA-HARO, F.J.; MELIA, J. A generalized soil-adjusted vegetation index. **Remote Sensing of Environment**, n. 82, p. 303–310, 2002.

GOMES, V. P.; GALVÍNCIO, J. D.; MOURA, M. S. B.; FERREIRA, P. S.; PAZ, Y. M.; MIRANDA, R. Q. Sensoriamento remoto hyperspectral aplicado para análise dos indicadores de resiliência e suscetibilidade do bioma caatinga frente às mudanças climáticas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.09, n.04, p. 1122-1136, 2016.

GUNDERSON, L. Resilience, flexibility and adaptive management – antidotes for spurious certitude? **Conservation Ecology**, v. 3, n.1, p.1-10, 1999.

HABOUDANE, D.; MILLER, J.R.; PATTEY, E.; ZARCO-TEJADA, P.J.; STRACHAN, I.B. Hyperspectral vegetation índices and novel algorithms for predictig green LAI of crop canopies: Modeling and validation in the context of precision agriculture. **Remote Sensing of Environment**, n. 90, p. 337-352, 2004.

HADDAD, N.M.; BRUDVIG, L.A.; CLOBERT, J.; DAVIES, K.F.; GONZALEZ, A.; HOLT, R.D.; LOVEJOY, T.E.; SEXTON, J.O.; AUSTIN, M.P.; COLLINS, C.D.; COOK, W.M.; DAMSCHEN, E.I.; EWERS, R.M.; FOSTER, B.L.; JENKINS, C.N.; KING, A.J.; LAURANCE, W.F.; LEVEY, D.J.; MARGULES, C.R.; MELBOURNE, B.A.; NICHOLLS, A.O.; ORROCK, J.L.; SONG, D.; TOWNSHEND, J.R. Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems. **Science Advances**, v. 1, n. 2, p. 1-9, 2015.

HAMANISHI, E.T.; THOMAS, B.R.; CAMPBELL, M.M. Drought induces alterations in the stomatal development program in *Populus*. **Journal of Experimental Botany**, v. 63, n. 13, p. 4959-4971, 2012.

HAMMER, Ø.; HARPER da Ryan. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. **Palaeontologia Electronica**, v. 4, n. 1, p. 9.

HANBA, Y.T.; KOGAMI, H.; TERASHIMA, I. The effect of growth irradiance on leaf anatomy and photosynthesis in *Acer* species differing in light demand. **Plant, Cell and Environment**, v. 25, n. 8, p. 1021-1030, 2002.

HARRIS, A.; CARR, A. S.; DASH, J. Remote sensing of vegetation cover dynamics and resilience across southern Africa. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 28, p. 131-139, 2014.

HOOKE, R.L.; DUQUE, M.; PEDRAZA GILSANZ, J. Land transformation by humans: a review. **GSA Today**, v. 22, n. 12, p. 4-10, 2012.

HUETE, A. R. Adjusting vegetation indices for soil influences. **International Agrophysics**, v. 4, n. 4, p. 367-376, 1988.

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

HUETE, A. R.; LIU, H. Q.; BATCHILY, K.; VAN LEEUWEN, W. A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. **Remote Sensing of Environment**, v. 59, n. 3, p. 440-451, 1997.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2010. Disponível: <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=260410&search=||infogr%E1ficos:-informa%E7%F5es-completas>. Acesso: 03 out. 2015.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2013. Disponível: <https://cidades.ibge.gov.br/painel/historico.php?codmun=260410>. Acesso: 10 dez. 2017.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2016. Disponível: <http://www.cidades.ibge.gov.br/painel/painel.php?lang=&codmun=260410&search=pernambuco|caruaru|infogr%E1ficos:-dados-gerais-do-munic%EDpio>. Acesso: 15 out. 2016.

JACKSON, R. D. Remote Sensing of Biotic and Abiotic Plant Stress. **Annual Review of Phytopathology**, n. 24, p. 265-87, 1986.

JACQUEMOUD, S.; BARET, F. PROSPECT: A Model of Leaf Optical Properties Spectra. **Remote Sensing of Environment**, n. 34, p. 75-91, 1990.

JENSEN, J. R. **Introductory digital image processing: A remote sensing perspective**. 4 ed., Prentice Hall. 1996. 316p.

JESUS, E.N.; FERREIRA, R.A.; ARAGÃO, A.G.; SANTOS, T.I.S.; ROCHA, S.L. Estrutura dos fragmentos florestais da bacia hidrográfica do Rio Poxim-SE, como subsídio à restauração ecológica. **Revista Árvore**, v.39, n.3, p.467-474, 2015.

JOHANSEN, D.A. *Plant Microtechnique*. McGraw-Hill Book Co. Inc., New York, 523p. 1940.

JOHNSON, J. D.; TOGNETTI, R.; MICHELOZZI, M.; PINZAUTI, S.; MINOTTA, G.; BORGHETTI, M. Ecophysiological responses of *Fagus sylvatica* seedlings to changing light conditions. II. The interaction of light environment and soilfertility on seedling physiology. **Physiologia Plantarum**, n. 101, p. 124-134, 1997.

JUSTICE, C.O.; VERMOTE, E.; TOWNSHEND, J.R.G.; DEFRIES, R.; ROY, D.P.; HALL, D.K. The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): Land Remote Sensing for Global Change Research. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 36, n. 4, p. 1228-1249, 1998.

KAGEYAMA, P.Y.; GANDARA, F.B.; SOUZA, L.M.I. Consequências genéticas da fragmentação sobre populações de espécies arbóreas. **Série Técnica – IPEF**, v. 12, n. 32, p. 65-70, 1998.

KALACSKA, M.E.R.; SÁNCHEZ-AZOFEIFA, G.A.; CALVO-ALVARADO, J.C.; RIVARD, B.; QUESADA, M. Effects of Season and Successional Stage on Leaf Area Index and Spectral Vegetation Indices in Three Mesoamerican Tropical Dry Forests. **Biotropica**, v. 37, n. 4, p. 486-496, 2005.

KAPOS, V. Effects of isolation on the water status of forest patches in the Brazilian Amazon. **Journal of Tropical Ecology**, v. 5, p.173-185. 1989.

KNAPP, A.K.; G.A. CARTER. Variability in leaf optical properties among 26 species from a broad range of habitats. **American Journal of Botany**, n. 85, p. 940-946, 1998.

KNIPLING, E.B. Physical and Physiological Basis for the Reflectance of Visible and Near-Infrared Radiation from Vegetation. **Remote Sensing of Environment**, n. 1, p. 155-159, 1970.

KRAUS, J.E.; ARDUIN, M. Manual básico de métodos em morfologia vegetal. **Seropédica**, RJ: EDUR. 25p. 1997.

KÜSTER, E.C.; BIERMAN, S.M.; KLOTZ, S.; KÜHN, I. Modelling the impact of climate and land use change on the geographical distribution of leaf anatomy in a temperate flora. **Ecography**, n. 34, 507-518, 2011.

LARCHER, W. **Physiological plant ecology: Ecophysiology and stressphysiology of functional groups**. 3ed., New York: Springer. 1995. 528p.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RiMa Artes e Textos. 2004. 531p.

LAURANCE, W.F.; COCHRANE, M.A. ; BERGEN, S. ; FEARNSIDE, P.M. ; DELAMÔNICA, P.; BARBER, C. ; D'ANGELO, S.; FERNANDES, T. The Future of the Brazilian Amazon. **Science**, n.291, p. 438-439, 2001.

LEAL, O.; SÁ, J.U.; MASCARENHAS, J.C. Avaliação hidrogeológica preliminar das aluviões do alto vale do rio Moxotó-PE. Recife: CPRM. 34p. 2000.

LEAL, I.R.; SILVA, J.M.C.; TABARELLI, M.; LACHER, J.R.T.E. Mudando o curso da conservação da biodiversidade na Caatinga do Nordeste do Brasil. **Megadiversidade**, v. 1, n. 1, p. 139-146, 2005.

LI, F.L.; BÃO, K. Elevational trends in leaf size of *Campylotropis polyantha* in the arid Minjiang River valley, SW China. **Journal of Arid Environments**, v. 108, p. 1-9, 2014.

LIPPERT, D.B.; BENEDETTI, A.C.P.; MUNIZ, M.F.B.; PEREIRA, R.S.; JUNIOR, C.A.B.; FINKENAUER, A.; BERRA, E.F. Spectral behavior of Eucalyptus globulus (labill.) leaves attacked by *Mycosphaerella* spp. in regions of visible and infrared near the electromagnetic spectrum. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 1, p. 211-219, 2015.

LOPES, C.G.R.; FERRAZ, E.M.N.; CASTRO, C.C.; LIMA, E.M.; SANTOS, J.M.F.F.; SANTOS, M.; ARAÚJO, E. L. Forest succession and distance from preserved patches in the Brazilian semiarid region. **Forest Ecology and Management**, v. 271, p. 115–123, 2012.

LUI, G. H.; MOLINA, S. M. G. Ocupação humana e transformação da paisagem na Amazônia brasileira. **Amazônica**, v.1, n.1, p. 200-228, 2009.

LUIZÃO, F. J. Ciclos de nutrientes na Amazônia: respostas às mudanças ambientais e climáticas. **Ciência e Cultura**, v. 9, n. 3, p. 31-36, 2007.

MACHADO, C. C. C.; CORRÊA, P. G.; GALVÍNCIO, J. D.; PIMENTEL, R. M. M. Relação entre parâmetros hídricos e morfoanatômicos foliares e o comportamento espectral de espécies da caatinga utilizando imagem de satélite (thematic mapper landsat 5). **Revista de Geografia**, v. 32, n. 1, p. 208-220, 2015.

MARKHAM, B.L.; BARKER, L.L. Thematic mapper bandpass solar exoatmospherical irradiances. **International Journal of Remote Sensing**, v. 8, n. 3, p. 517-523, 1987.

MATLACK, G. R. Microenvironment variation within and among forest edge sites in the eastern United States. **Biological Conservation**, v. 66, p. 185-194. 1993.

MEIRELLES, S. T.; MATTOS, E. A.; SILVA, A. C. Potential Desiccation Tolerant Vascular Plants from Southeastern Brazil. **Polish Journal of Environmental Studies**, v. 6, n. 4, p. 17-21, 1997.

MESQUITA, G.B.; ANDRADE, A.M. O desenvolvimento local de caruaru via indústria de

confeção: uma alternativa possível? *Interfaces*, v. 6, n. 2, p. 1-14, 2006.

MIDDLETON, E.M.; WALTER-SHEA, E.A.; MESARCH, M.A.; CHAN, S.S.; RUSIN, R.J. Optical properties of canopy elements in black spruce, jack pine and aspen stands in Saskatchewan, Canada. **Canadian Journal of Remote Sensing**, v. 24, n. 2, p. 169-186, 1998.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. Avaliação e ações prioritárias para a conservação da biodiversidade da Caatinga. Universidade Federal de Pernambuco/Fundação de Apoio a desenvolvimento da conservação do Brasil. Fundação Biodiversidade. Embrapa Semiárido, Brasília. 2002.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. 2013. **Contexto, Características e Estratégias de Conservação**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/biomas/caatinga/item/191>> Acesso em 02 agosto de 2014.

MOHAMMED, G. H.; NOLAND, T. L.; IRVING, D.; SAMPSON, P. H.; ZARCO-TEJADA, T. J.; MILLER, J. R. Natural and stress-induced effects on leaf spectral reflectance in Ontario species. **Forest Research Report**, n. 156, p. 34, 2000.

MONZÓN-ALVARADO, C.; CORTINA-VILLAR, S.; SCHMOOK, B.; FLAMENCO-SANDOVAL, A.; CHRISTMAN, Z.; ARRIOLA, L. Land-use decision-making after large-scale forest fires: Analyzing fires as a driver of deforestation in Laguna del Tigre National Park, Guatemala. **Applied Geography**, v. 35, p. 43-52, 2012.

MOREIRA, P.A.; SILVA, J.O.; COSTA, F.V.; BRANDÃO, D.O.; NEVES, F.S. Herbivoria foliar em *Tabebuia ochracea* (Cham.) Standl (Bignoniaceae) em dois estágios sucessionais de uma floresta estacional decidual. **Lundiana**, v. 11, n. 2, p. 69-71, 2013.

NICHOL, J. E. An examination of tropical rain forest microclimate using GIS modeling. **Global Ecology and Biogeography Letters**, v. 4, p. 69-78. 1994.

NUCCI, J. C. Origem e desenvolvimento da ecologia e da ecologia da Paisagem. **Revista Eletrônica Geografar**, v.2 n.1, p. 77-99, 2007.

OLEXA, E.M.; LAWRENCE, R.L. Performance and effects of land cover type on synthetic surfacereflectance data and NDVI estimates for assessment and monitoring of semi-arid rangeland. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 30, p. 30-41, 2014.

OLIVEIRA, T.H.; MACHADO, C. C. C.; SILVA, J. S.; GALVÍNCIO, J.D.; PIMENTEL, R. M. M.; SILVA, B. B. Índice de Umidade (NDWI) e Análise Espaço-Temporal do Albedo da Superfície da Bacia Hidrográfica do Rio Moxotó-PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, n. 3, p. 55-69, 2010.

OLIVEIRA, T.H.; GALVÍNCIO, J.D. Use and Land Cover in Areas of Northeast Brazil Semiarid. **Revista de Geografia**, v. 28, n. 1, p. 120-133, 2011.

OLSEN, L.M.; DALE, V.H.; FOSTER, T. Landscape patterns as indicators of ecological change at Fort Benning, GA. **Landscape and Urban Planning**, n. 79, p. 137-149, 2007.

ONU - Organização das Nações Unidas. 2016. Disponível em:

<https://nacoesunidas.org/acao/populacao-mundial/>. Acesso em 10 outubro de 2016.

OURCIVAL, J. M.; JOFFRE, R.; RAMBAL, S. Exploring the relationships between reflectance and anatomical and biochemical properties in *Quercus ilex* leaves. **New Phytologist**, n. 143, p. 351-364, 1999.

PENUELAS, J.; FILELLA, E. Visible and near-infrared reflectance techniques for diagnosing plant physiological status. **Trends in Plant Science**, v. 3, n. 4, p. 151–156, 1998.

PÉRICO, E.; CEMIN, G. Landscape characterization of the municipal district of Arvorezinha, RS, with emphasis in the forest fragments dynamics, by the use of geographical information systems (GIS). **Scientia Forestalis**, n. 70, p. 09-21, 2006.

PÉRICO, E.; CEMIN, G.; LIMA, D. F. B.; REMPEL, C. Efeitos da fragmentação de habitats sobre comunidades animais: utilização de sistemas de informação geográfica e de métricas de paisagem para seleção de áreas adequadas a testes. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2005, Goiânia: INPE, 2005. p. 2339-2346.

PINTO-COELHO, R.M. **Fundamentos em Ecologia**. Ed. Artmed. 2007.257p.

POLETTE, M. Paisagem: uma reflexão sobre um amplo conceito. **Turismo Visão e Ação**. v. 2, n. 3, p. 83-94, 1999.

PONZONI, F.J. Comportamento espectral da Vegetação. In: MENESES, P. R.; MADEIRA NETTO, J. S. (Eds), **Sensoriamento Remoto – Reflectância dos Alvos Naturais**. Universidade de Brasília – UnB. Embrapa Cerrados. Brasília, DF. p. 157-199. 2001.

PRADO, D. As caatingas da América do Sul. In: LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J.M.C. (Eds.). **Ecologia e conservação da Caatinga**. Editora Universitária, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil. pp. 3-73. 2003.

RAVEN, P.H.; EICHHORN, S.E.; EVERT, R.F. **Biologia Vegetal**. 8 Ed., Editora Guanabara. Rio de Janeiro. 2014. 876p.

REALPE-GOMEZ, J.; BAUDENA, M.; GALLA, T.; MCKANE, A. J.; RIETKERK, M. Demographic noise and resilience in a semi-arid ecosystem model. **Ecological Complexity**, v. 15, p. 97-108, 2013.

RESASCO, J.; BRUNA, E.M.; HADDAD, N.M.; BANKS-LEITE, C.; MARGULES, C.R. The contribution of theory and experiments to conservation in fragmented landscapes. **Ecography**, n.40, p. 109–118, 2017.

ROTH, K. L.; CASAS, A.; HUESCA, M.; USTIN, S. L.; ALSINA, M. M.; MATHEWS, S. A.; WHITING, M. L. Leaf spectral clusters as potential optical leaf functional types within California ecosystems. **Remote Sensing of Environment**, n.184, p. 229–246, 2016.

ROUSE, J.W.; HASS, R.H.; SHELL, J.A.; DEERING, D.W. Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. In: **Proceedings Of Third ERTS Symposium**, Washington, p. 309-317, 1973.

SÁ, I.B.; ANGELOTTI, F. Degradação ambiental e desertificação no Semiárido brasileiro. In: ANGELOTTI, F.; SÁ, I.B.; MENEZES, E.A.; PELLEGRINO, G.Q. (Ed.) Mudanças climáticas e desertificação no Semiárido brasileiro. Petrolina: Embrapa Semiárido. Cap 4, p. 53-76, 2009.

SARA. Secretaria de Agricultura e Reforma Agrária, Governo do Estado de Pernambuco, 2015. Disponível:
http://www.agricultura.pe.gov.br/interna.php?p=dadospluviometricos&s=RD8_Q_caruaru. Acesso: 03 out. 2015.

SANTANA, M.F.; DELGADO, R.C.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J.F.; GOIS, G.; TEODORO, P.E. Variability of the Atlantic Forest based on the EVI index and climate variables in Cunha-SP, Brazil. **Revista de Ciências Agroambientais**, v. 14, n. 1, p. 37-44, 2016.

SAUNDERS, D. A.; HOBBS, R. J.; MARGULES, C. R. Biological consequences of ecosystem fragmentation: a review. **Conservation Biology**, n. 5, p. 18–32, 1991.

SCHRODER, T.; PEREIRA, R. S.; ZIMMERMANN, A. P. L.; REDIN, C. G.; MACHADO, L. M.; FLECK, M. D.; ROCHA, M. S. 2015. Influência de métodos de coleta de dados espectrorradiométricos sob índices de vegetação em eucalipto. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 19, n. 3, p. 690-701, 2015.

SHALABY, A.; TATEISHI, R. Remote sensing and GIS for mapping and monitoring land cover and land-use changes in the Northwestern coastal zone of Egypt. **Applied Geography**, v. 27, n. 1, p. 28-41, 2007.

SHAMS, J.C.A.; GIACOMELI, D.C.; SUCOMINE, N.M. Emprego da arborização na melhoria do conforto térmico nos espaços livres públicos. *Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana*, v. 4, n. 4, p. 1-16, 2009.

SHANG, J.; LIU, J.; MA, B.; ZHAO, T.; JIAO, X.; GENG, X.; HUFFMAN, T.; KOVACS, J.M.; WALTERS, D. Mapping spatial variability of crop growth conditions using RapidEye. **Remote Sensing of Environment**, n. 168, p. 113–125, 2015.

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

SIVAKUMAR, M.V.K.; DAS, H.P.; BRUNINI, O. Impacts of present and future climate variability and change on agriculture and forestry in the arid and semi-arid tropics. **Climatic Change**. v. 70, p. 31–72. 2005.

STEINER, D.; GUTERMANN, T. **Russian data on spectral reflectance of vegetation, soil, and rock types**. Final Technical Report, United States Army European Research Office. 1966. 232p.

TABARELLI, M.; GASCON, C. Lições da pesquisa sobre fragmentação: aperfeiçoando políticas e diretrizes de manejo para a conservação da biodiversidade. **Megadiversidade**, v. 1, n. 1, p. 181-188, 2005.

TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C.; GASCON, C. Forest fragmentation, synergisms and the impoverishment of neotropical forests. **Biodiversity and Conservation**, v. 13, p. 1419-1425, 2004.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3 ed. Artmed, Porto Alegre. 2004. 722p.

TIVY, F. **Biogeography: a study of plants in the ecosphere**. Essex: Longman Scientific & Technical. 1993. 452p.

TRENBERTH, K.E. The Definition of El Niño. Bulletin of the American Meteorological Society, p. 2771:2777, 1997.

TURNER, M. G. 2005. LANDSCAPE ECOLOGY: What Is the State of the Science?. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, n. 36, p. 319–44, 2005.

TURNER, M. G.; GARDNER, R. H. **Quantitative Methods in Landscape Ecology: the analysis and interpretation of landscape heterogeneity**. Springer Verlag: New York, NY. 1991. 536p.

UNESCO. Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura. 2014. Convention for the safeguarding of the intangible cultural heritage. Report on the implementation of the Convention and on the status of elements inscribed on the Representative List of the Intangible Cultural Heritage of Humanity, Brazil.

USGS. United States Geological Survey. Disponível: <https://landsat.usgs.gov/using-usgs-landsat-8-product> Acesso: 01 jan. 2017.

VALENTE, R.O.A.; VETTORAZZI, C. A. Análise da estrutura da paisagem na Bacia do Rio Corumbataí, SP. **Scientia Forestalis**, n. 62, p. 114-129, 2002.

VIANA, V. M.; PINHEIRO, L. A. F. V. Conservação da Biodiversidade em fragmentos florestais. **Série Técnica IPEF: ESALQ/USP**, n. 12, p. 25-42, 1998.

VIGANO, H. A.; BORGES, E.F.; FRANCA-ROCHA, W.J.S. Análise do desempenho dos índices de vegetação NDVI e SAVI a partir de imagem Aster. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR, Curitiba-PR, p. 1828-1834, 2011.

VITTE, A. C. O desenvolvimento do conceito de paisagem e a sua inserção na geografia física. **Mercator**, v. 6, p.1171-78, 2007

WAKEEL, A.; RAO, K. S.; MAIKHURI, R. K.; SAXENA, K. G. Forest management and land use/cover changes in a typical micro watershed in the mid elevation zone of Central Himalaya, India. **Forest Ecology and Management**, n. 213, p. 229–242, 2005.

WILLKOMM, M.; VIERNEISEL, B.; DANNENBERG, P. Land use change dynamics in the Mt. Kenya region-a remotely sensed analysis using RapidEye satellite images. **Zentralblatt für Geologie und Paläontologie**, v. 1, p. 23-40. 2016.

WILCOX, D.; DOVE, B.; MCDAVID, D.; GREER, D. *UTHSCSA: Image Tool for Windows*[®]. Version 3. San Antonio: University of Texas health Science Center, 2002.

WILSON, M.C.; CHEN, X.; CORLETT, R.T.; DIDHAM, R.K.; DING, P.; HOLT, R.D.; HOLYOAK, M.; HU, G.; HUGHES, A.C.; JIANG, L.; LAURANCE, W.F.; LIU, J.; PIMM, S.L.; ROBINSON, S.K.; RUSSO, S.E.; SI, X.; WILCOVE, D.S.; WU, J.; YU, M. Habitat fragmentation and biodiversity conservation: key findings and future challenges. **Landscape Ecology**, n. 31, p. 219–227, 2016.

XIAN, G.; HOMER, C.; FRY, J. Updating the 2001 National Land Cover Database land cover classification to 2006 by using Landsat imagery change detection methods. **Remote Sensing of Environment**, n. 113, p. 1133-1147, 2009.

YANG, H.; YANG, X.; HESKEL, M.; SUN, S.; TANG, J. Seasonal variations of leaf and canopy properties tracked by ground-based NDVI imagery in a temperate forest. **Nature (Scientific Reports)**, 7:1267, p. 1-10, 2017.

YU, D.; LIU, Y.; XUN, B.; SHAO, H. Measuring Landscape Connectivity in a Urban Area for Biological Conservation. **Clean – Soil, Air, Water**, v. 43, n. 4, p. 605–613, 2015.

ZHANG, K.H. & SONG, S. Rural–urban migration and urbanization in China: Evidence from time-series and cross-section analyses. **China Economic Review**, v. 14, n.4, p. 386-400, 2003.

ZHANG, X.; FRIEDL, M.A.; SCHAAF, C.B.; STRAHLER, A.H.; HODGES, J.C.F.; GAO, F.; REED, B.C.; HUETE, A. Monitoring vegetation phenology using MODIS. **Remote Sensing of Environment**, n. 84, p. 471-475, 2003.

ZIPPERER, W.C.; FORESMAN, T.W.; WALKER, S.P.; DANIEL, C.T. Ecological consequences of fragmentation and deforestation in an urban landscape: a case study. **Urban Ecosystems**, v. 15, n. 3, p. 533-544, 2012.