
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA E DE AGRIMENSURA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS GEODÉSICAS E
TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO

GABRIELA BISPO VALENZUELA

**ANÁLISE MULTI-TEMPORAL DA FRAGMENTAÇÃO DA PAISAGEM DA REGIÃO
METROPOLITANA DE ARACAJU**



Recife
2018

GABRIELA BISPO VALENZUELA

**ANÁLISE MULTI-TEMPORAL DA FRAGMENTAÇÃO DA PAISAGEM DA REGIÃO
METROPOLITANA DE ARACAJU**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Pernambuco como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação.

Área de Concentração: Cartografia e Sistemas de Geoinformação.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Mikosz Gonçalves.

Recife

2018

Catálogo na fonte
Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

V586P Valenzuela, Gabriela Bispo.
Análise multi-temporal da fragmentação da paisagem da Região Metropolitana de Aracaju / Gabriela Bispo Valenzuela. – 2018.
76 folhas, il., gráfs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Mikosz Gonçalves.
Coorientadora: Profª Drª Geisedrielly Castro Santos.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2018.

Inclui Referências.

1. Engenharia Cartográfica. 2. Fragmentação da paisagem. 3. Ecologia da paisagem. 4. Região metropolitana de Aracaju/Sergipe. I. Gonçalves, Rodrigo Mikosz. (Orientador). II. Santos, Geisedrielly Castro. (Coorientadora). III. Título.

UFPE

526.1 CDD (22. ed.)

BCTG/2018-407

GABRIELA BISPO VALENZUELA

**ANÁLISE MULTI-TEMPORAL DA FRAGMENTAÇÃO DA PAISAGEM DA REGIÃO
METROPOLITANA DE ARACAJU**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Pernambuco como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação.

Aprovado em: 09/08/2018

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Rodrigo Mikosz Gonçalves (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Profa. Dra. Ana Lúcia Bezerra Candeias (Examinadora Interna)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Paulo Henrique Gomes de Oliveira Souza (Examinador Externo)
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira

*Aos meus pais, Josineide, Luiz e Willy, por sempre
acreditarem em mim e por apoiarem todos os meus
sonhos. Às minhas avós Zuza e Lupe pelo aconchego em
todos os momentos. Aos meus amores de quatro patas,
Frida e Nina, pelo companheirismo e carinho sem limites.*

AGRADECIMENTOS

À Deus por me presentear com um novo dia sempre, me fazendo lembrar que tudo que passamos nessa vida é para o nosso próprio aprendizado. Agradeço por cada passo, pois se hoje me orgulho de quem sou, é porque Ele me disse que eu era capaz e me deu a força necessária para não desistir.

Aos meus pais, Josineide, Willy e Luiz, pelo amor e apoio incondicionais e por embarcarem comigo nessa experiência incrível de crescimento profissional e pessoal. Vocês sabem o quanto esse mestrado representou muito mais do que um simples título acadêmico. Obrigada Deus, por tê-los como exemplo de vida!

Ao meu orientador Rodrigo Mikosz, que além de um grande pesquisador é também um ótimo orientador. Obrigada pela paciência e pelo incentivo, sei que muitas vezes não foi fácil permanecer junto comigo nessa caminhada, mas te agradeço por não desistir de mim. E também à Geisedrielly, minha co-orientadora e parceira geográfica.

À minha psicóloga, Clara Japiaçu, por me mostrar que sou mais forte do que imagino.

À todos colegas da turma de 2016.1 do PPGCGTG, por sermos uma turma tão unida, não poderia ter entrado nessa com colegas melhores que vocês. Em especial para Wedja e Danilo, por serem mais que um presente na minha vida e terem me acolhido com tanto carinho, para Zé e Camila, pelo nosso trio e para Weyller e Glauco, que seguraram minha mão quando mais precisei.

À Elizabeth Galdino, que desde o primeiro dia que pisei os pés na UFPE, sempre me recebeu com um sorriso no rosto, palavras de conforto e torcida.

À tia Judite por todo carinho em forma de café, sorrisos e conversas.

À minha família, representada por minhas avós Zuza e Lupe, que acompanharam cada momento de angústia que passei e que me mandaram energias mais que positivas e por minhas primas maravilhosas: Ellen, Luana, Juju, Carol e “Amin”, nos tornando cada vez mais próximas. E aos meus amigos de Aracaju, que torceram e torcem por mim, especialmente aos que mais tiveram paciência e foram resilientes comigo nos momentos em que nem eu gostava da minha companhia. Luan, Jéssica, Paula (e Pérola) e a galera da rua 8, amo muito vocês.

Aos amigos que Recife me deu, Débora, “Xuliana”, Tia Lice, Fábio Sarmento, Cícero e Adolfo, obrigada pelos conselhos, pelos momentos de distração e por fazerem eu sempre me sentir à vontade nessa cidade *alucicracy*.

Aos amores que vivi aqui, que não foram só pessoas, mas também lugares e experiências.

Ao Programa de Pós-graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação da Universidade Federal de Pernambuco, por abrirem minha mente para tantas coisas novas. E também a todos os professores do programa.

À Fundação Mamíferos Aquáticos – FMA que me proporcionou estar junto à pesquisadores dedicados, despertando em mim a admiração e a necessidade de também prestar meus melhores serviços ao meio ambiente. Ao Instituto de Tecnologia e Pesquisa – ITP que me acolheu como profissional e me deu o suporte necessário para que eu pudesse chegar até aqui.

Ao Prof. Sidney Gouveia e a Prof.^a Ana Lúcia Candeias pelo grande auxílio técnico para que eu pudesse desenvolver esta pesquisa.

E, por último, mas não menos importante, a mim mesma, pois jamais concluiria essa etapa sem acreditar que sou capaz e que tenho a força necessária para realizar todas as coisas que sonho.

"A paisagem não é uma simples adição de elementos geográficos disparatados. É, em uma determinada porção do espaço, o resultado da combinação dinâmica, portanto instável, de elementos físicos, biológicos e antrópicos que, reagindo dialeticamente uns sobre os outros, fazem da paisagem um conjunto único e indissociável, em perpétua evolução"

(BERTRAND, 1972 P. 141)

RESUMO

A área de estudo proposta por essa pesquisa compreende a Região Metropolitana de Aracaju, no Estado de Sergipe, que foi escolhida por se tratar do núcleo mais urbanizado do estado, apresentando-se em paisagens contrastantes, de usos múltiplos, que vão desde atividades agropastoris ao turismo. Assim, esta pesquisa tem como objetivo principal analisar a fragmentação da paisagem da área de estudo e sua evolução temporal aplicando os conceitos e as métricas da Ecologia de Paisagem. Para tanto, foram utilizados como materiais, imagens de satélites (LANDSAT 5 e 8), considerando um intervalo de 25 anos (1990 e 2015). Feito isso, as imagens foram classificadas pelo método supervisionado conforme a seleção de 7 classes do uso do solo, sendo elas: Floresta, Mangue, Restinga, Cultivo e/ou Pastagem, Solo Exposto, Adensamento Urbano e Corpos D'Água. A validação das classificações das imagens foi feita através da análise da matriz de confusão e do cálculo do índice Kappa, cujos resultados foram, respectivamente, 83% e 0,79 para o ano de 1990 e 83% e 0,80 para 2015. A partir desta classificação os fragmentos foram submetidos à aplicação das métricas, utilizando o *software* Fragstats onde foram calculadas sete métricas à nível de classe (Área total da classe, Porcentagem da classe na paisagem, Número de fragmentos por classe, Densidade de fragmentos, Tamanho médio do fragmento por classe, Índice de proximidade médio, Distância média até o vizinho mais próximo). Os resultados obtidos revelaram que a área de estudo se encontra, desde 1990, com transformações estruturais da paisagem e apresenta alto grau de fragmentação das áreas de vegetação natural – Floresta, Mangue e Restinga – sendo sobrepostas por classes relacionadas ao uso antrópico, principalmente relacionado ao uso urbano e às atividades agropastoris.

Palavras-chave: Fragmentação da paisagem. Ecologia da paisagem. Região metropolitana de Aracaju/Sergipe.

ABSTRACT

The Landscape Ecology, through measurements, proposes spacial standards that allow understanding the landscape's units of organization and quantifying its structure. The landscape measure indicates the scientifically support to showcase the level of the landscape fragmentation. Knowing that the area of study proposed by this research includes Aracaju's metropolitan area in the state of Sergipe, that was chosen because is the state's most urbanized part showing contrasting landscape of multiple uses that go from agriculture to tourism. That way, this research has as its main goal to analyse the fragmentation of the area of study and its temporal Evolution applying the concepts and metrics of Landscape Ecology. In order to it, satellite images (LANDSAT) were used as material considering a 25 years gap (1990 – 2015). The images were classified through the supervised method according to the selection of 7 classes of soil: Forest, Mangrove, Sand-dune, Cultivation and/or Pasture, Exposed Soil, Dense Urban, Water Bodies. The validation of the images classifications was done through the confusion matrix and the Kappa index, which results were respectively 83% and 0,79 in 1990 and 83% and 0,80 in 2015. Through the classification of the fragments that were submitted metrical apply using *Fragstats software* where were seven measurements were calculated according to the classes: Total (class) area; Percentage of landscape; Number of patches; Proximity index (mean); Area of patch (mean); Euclidean nearest neighbor (mean). The results obtained revealed that the area of study since 1990 has shown structural transformations in the landscape and high level of fragmentation of natural vegetation – Forest, Mangrove and Sand-dune – being over positioned by classes related to the urban and agricultural activities.

Keywords: Landscape fragmentation. Landscape ecology. Metropolitan region of Aracaju/Sergipe.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Quadro 1 - Características do LANDSAT 5	21
Quadro 2 - Características do LANDSAT 8	22
Figura 1 – Diagrama de Dispersão de distribuição de probabilidade de um <i>pixel</i> no método de Máxima Verossimilhança.....	24
Quadro 3 – Modelo genérico da Matriz de confusão	25
Quadro 4 – Valores de Índice Kappa	27
Figura 2 – Elementos que compõem a estrutura da paisagem (manchas, corredores e matriz)	29
Figura 3 – Interface do <i>software</i> para nova análise; A – Entrada da imagem e definição dos parâmetros; B – Seleção das métricas a serem calculadas nos níveis de Fragmento (<i>patch</i>), Classe (<i>Class</i>) e Paisagem (<i>Landscape</i>); C – Relatório de atividades do procedimento.....	32
Figura 4 – Na aba "Ajuda" do software são encontrados os materiais de apoio para realização das análises.	33
Figura 5 – (a) Localização de Sergipe em relação ao Nordeste. (b) Destaque da R.M.A em Sergipe. (c) Municípios componentes da Região Metropolitana de Aracaju.....	34
Figura 6 – Gráfico demonstrativo das mudanças no perfil da população urbana e rural da Região Metropolitana de Aracaju, desde antes da sua criação, em 1970 até os dias atuais.	35
Figura 7 – Alguns tipos de uso do solo encontrados na área de estudo. A – Área de Pastagem em vertentes no município de Nossa Senhora do Socorro; B – Manguezal às margens do rio Santa Maria, entre os municípios de Aracaju e São Cristóvão. C – Curso d'água do rio Vaza Barris na região limítrofe dos municípios de Aracaju e São Cristóvão; D – Vegetação de Restinga fixando as areias das dunas, ao fundo o cultivo de coco no município de Barra dos Coqueiros; E – Área de Floresta Ombrófila encontrada dentro da APA do Morro do Urubu, em Aracaju; F – Região do Centro de Aracaju, vista de Barra dos Coqueiros.....	37

Figura 8 – Fluxograma de atividades conforme metodologia adotada.	39
Figura 9 – Classes de uso do solo e os respectivos objetos de interesse para a classificação.	40
Figura 10 – Mapa de Uso do Solo produzido a partir da imagem classificada para o ano 1990.	43
Figura 11 – Mapa de Uso do Solo produzido a partir da imagem classificada para o ano 2015.	44
Quadro 5 – Extensão territorial das classes de uso do solo nos anos 1990 e 2015 em hectares e a porcentagem que ocupa na paisagem total	45
Figura 12 – Porcentagem da área ocupada pelas classes de acordo com os mapas de uso do solo.	46
Quadro 6 – Matriz de confusão gerada a partir da imagem classificada para o ano de 1990	46
Quadro 7 – Matriz de confusão gerada a partir da imagem classificada para o ano de 2015	47
Figura 13 – Área de abrangência da classe Floresta na RMA, com destaque para fragmentação das manchas. a) Área de Floresta em 1990; b) Área de Floresta em 2015.	49
Figura 14 – Área de abrangência da classe Mangue, com destaque para fragmentação das manchas. a) Área de mangue em 1990; b) Área de mangue em 2015.	51
Figura 15 – Manchas das classes Floresta e Restinga nos anos de 1990 (a) e 2015 (b).	53
Figura 16 – Área ocupada pela classe Restinga, com destaque para os fragmentos. a) Área de Restinga em 1990; b) Área de Restinga em 2015.	54
Figura 17 – Área da classe Cultivo e/ou Pastagem na RMA, com destaque para fragmentação das manchas. a) Área de Cultivo e/ou Pastagem em 1990; b) Área de Cultivo e/ou Pastagem em 2015.	56
Figura 18 – Aumento do número de manchas da classe Solo Exposto. a) Área de Solo Exposto em 1990; b) Área de Solo Exposto em 2015.	58
Figura 19 – Espalhamento da classe Adensamento urbano nos municípios da RMA, com destaque para fragmentação das manchas. a) Área de	

Adensamento urbano em 1990; b) Área de Adensamento urbano em 2015.	60
Figura 20 – Aumento da área da classe Corpos D'Água analisado em 2015, com destaque para a área ocupada pela barragem do Poxim-Açú.	61
Figura 21 - Fragmentos da classe Corpos D'Água nos anos 1990 (a) e 2015 (b).....	62

LISTA DE SIGLAS

APA	Área de Proteção Ambiental
AREA_MN	Area (Patch) Mean
ASCII	<i>American Standard Code for Information Interchange</i>
CA	Total (Class) Area
ENN_MN	Euclidean Nearest-Neighbor Distance Mean
ERTS	<i>Earth Resources Technology Satellite</i>
ESRI	Environmental Systems Research Institute
FLONAI	Floresta Nacional do Ibura
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LANDSAT	<i>Land Remote Sensing Satellite</i>
MAXVER	Máxima Verossimilhança
MSIEI	Modified Simpson's Evenness Index
MSS	<i>Multispectral Scanner System</i>
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
NP	Number of Patches
OLI	<i>Operational Land Imager</i>
PD	Patch Density
PDI	Processamento Digital de Imagens
PLAND	Percentage of Landscape
PNGC	Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro
PROX_MN	Proximity Index Mean
REM	Radiação Eletromagnética
RMA	Região Metropolitana de Aracaju
TIRS	<i>Thermal Infrared Sensor</i>
TM	<i>Thematic Mapper</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	OBJETIVO GERAL.....	19
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	20
2.1	IMAGENS DE SATÉLITE E PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS	20
2.1.1	Série LANDSAT e o mapeamento terrestre	20
2.1.2	Processamento e uso de imagens de Sensoriamento Remoto.....	22
2.1.2.1	Método da Máxima Verossimilhança.....	23
2.1.2.2	Avaliação da Acurácia da Classificação através da Matriz de confusão e índice Kappa.....	25
2.2	O CONCEITO DE PAISAGEM APLICADO NOS ESTUDOS SÓCIOAMBIENTAIS	27
2.2.1	Ecologia da Paisagem.....	28
2.2.2	Estrutura da Paisagem.....	29
2.2.3	Métricas da Paisagem	30
2.2.4	Software Fragstats	31
2.3	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	33
3	MATERIAIS E MÉTODOS	38
3.1	RECURSOS MATERIAIS	38
3.2	METODOLOGIA.....	38
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	43
4.1	MAPAS DE USO DO SOLO	43
4.2	VALIDAÇÃO DOS MAPAS DE USO DO SOLO	46
4.3	ANÁLISE DAS MÉTRICAS.....	47
4.3.1	Floresta.....	48
4.3.2	Mangue	50
4.3.3	Restinga	52
4.3.4	Cultivo e/ou Pastagem	54
4.3.5	Solo Exposto.....	57
4.3.6	Adensamento Urbano	58

4.3.7	Corpos D'Água	60
5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	63
	REFERÊNCIAS	65
	ANEXO A: Definição de métricas aplicadas à nível de Classe	73
	ANEXO B: Planilha de resultados das métricas por classe.....	74

1 INTRODUÇÃO

Assim como em outras regiões costeiras ao redor do mundo, o litoral brasileiro é marcado pelo desenvolvimento de atividades econômicas, elevado contingente populacional e conflitos em relação ao uso e ocupação do solo. Desta maneira, as consequências do crescimento das cidades e a expansão urbana acelerada, se tornaram um problema que merece destaque na sociedade atual (MORAES, 2007). Os reflexos das ações antrópicas sobre a biota costeira e marinha também são expressivos, como destaca McCauley *et al.* (2015), que identificaram padrões de declínio e perda de espécies nos ambientes marinhos. Há ainda outras consequências que influenciam na transformação das paisagens costeiras brasileiras, dentre as quais pode-se relacionar os estudos desenvolvidos por Muehe (2006) e Souza (2009), sobre erosão costeira, cujos impactos têm sido intensificados pela ocupação humana.

A paisagem pode ser considerada como uma categoria de análise geográfica e ecológica que permite dar subsídios ao entendimento deste sistema complexo, que é formado a partir da concretude de transformações naturais, e das ações antrópicas na superfície terrestre. Através da evolução da paisagem é possível compreender o passado, estudar o presente, bem como dar indícios aplicando modelos capazes de apresentar tendências para estados futuros (OLIVEIRA, 2017).

Para detectar esses efeitos e acompanhar as mudanças decorrentes da interação da sociedade com o meio ambiente, a ecologia de paisagem, através do uso de métricas, propõe o estabelecimento de padrões espaciais que permitem compreender a organização das unidades da paisagem bem como quantificar sua estrutura (TURNER *et al.*, 1989). As métricas da paisagem são índices que fornecem o suporte científico para evidenciar o grau de fragmentação da paisagem, ou seja, o quanto a paisagem original foi fragmentada pelas distintas classes de uso do solo. Dentre os primeiros trabalhos desenvolvidos na área, é possível destacar os estudos de Carl Troll (1950) que definiu o termo “Ecologia da Paisagem”, Forman e Gordon (1986) que apresentaram a estruturação da paisagem, Turner (1989) retratou as análises dos padrões espaciais encontrados na paisagem e McGarigal e Marks (1995) destacaram os estudos da paisagem através do cálculo de índices contribuindo, desta forma, com a definição de métricas da paisagem.

Entre os trabalhos mais recentes, considerando o nível internacional que utilizam esses conceitos, citam-se os trabalhos desenvolvidos por Liu e Yang (2015),

analisando as mudanças nas terras urbanas de Atlanta, nos Estados Unidos da América através do uso das métricas de paisagem para examinar o tamanho, o padrão e a natureza das mudanças. Além disso, eles destacaram a integração de informações espaciais obtidas por sensoriamento remoto com SIG (Sistemas de Informações Geográficas), onde foi possível verificar a transição dos padrões de urbanização. Em Ghosh *et al.* (2012), foram analisados os resultados da aplicação de métricas da paisagem para detecção de mudanças florestais nos Montes do Himalaia, verificando que apesar da desertificação ter aumentado, esta ocorreu de certa forma planejada e monitorada.

No Brasil, também existem pesquisas relacionadas à aplicação de métricas da paisagem, como por exemplo em pesquisas relacionadas à recuperação de áreas degradadas, tais como Azevedo, Gomes e Moraes (2016), que identificaram áreas prioritárias para recuperação ambiental de uma Bacia Hidrográfica no Estado de Minas Gerais e Camelo (2016), constatando que a paisagem inicial de uma área de proteção ambiental localizada no Distrito Federal foi substituída por uma paisagem mais devastada e menos heterogênea. A nível local considerando o nordeste do Brasil, é possível destacar os trabalhos de Fernandes *et al.*, (2017), que utilizaram imagens de alta resolução para quantificar o uso do solo na Bacia Hidrográfica do Rio Piauitinga (SE), recomendando a construção de corredores ecológicos visando a conservação dos ecossistemas que a caracterizam; Jesus (2015), utilizou imagens ortorretificadas para analisar os efeitos da fragmentação da paisagem na Bacia Hidrográfica do Rio Poxim, um importante rio que abastece a região metropolitana de Aracaju; e Silva (2014), que utilizou as métricas da paisagem na análise dos padrões espaciais da Floresta Nacional do Ibura, em Sergipe, a qual possui importância no contexto nacional tendo em vista a preservação e conservação do que ainda existe da Mata Atlântica no Estado de Sergipe, sendo um importante reduto para algumas espécies ameaçadas de extinção.

Tais pesquisas analisam, de maneira geral, a estrutura da paisagem no presente e têm como enfoque, maneiras de reestabelecer o equilíbrio ou a sua conservação. No entanto, destaca-se que as análises temporais permitem investigar a dinâmica na busca por padrões que possibilitem compreender a natureza das transformações no uso do solo. A metodologia deste trabalho propõe a integração de sensoriamento remoto às métricas espaciais, visando examinar diferentes dimensões estruturais de mudanças no uso do solo, como localização, distribuição e tamanho

dos fragmentos, que são importantes variáveis para a quantificação e compreensão da estrutura da paisagem. Os dados da série LANDSAT têm sido amplamente utilizados em estudos de detecção de mudanças no uso do solo em escalas regionais, como os trabalhos desenvolvidos por Liu e Weng, (2013); Vogelmann *et al.*, (2001); Yang e Liu, (2005), Yuan *et al.*, (2005), Yang e Lo, (2002); entre outros. No entanto, há de se destacar dois desafios a serem superados, o primeiro deles é a utilização de dados de baixa resolução para a identificação das mudanças, enquanto que o segundo desafio é a utilização de dados provenientes de sensoriamento remoto em áreas costeiras, visto a dificuldade da disponibilidade de imagens cujo recobrimento de nuvens permita a aplicação desta metodologia, uma vez que no nordeste do Brasil é muito comum a presença de nuvens nas áreas costeiras o que dificulta a detecção de informações.

A área de estudo proposta por essa pesquisa compreende a região metropolitana de Aracaju, no Estado de Sergipe, que possui uma população estimada em 835.816 habitantes (IBGE, 2010), distribuídos numa área de aproximadamente 864.510 km², composta por quatro municípios, sendo eles: Aracaju (capital), São Cristóvão, Nossa Senhora do Socorro e Barra dos Coqueiros. Sendo que, dentro dos termos estabelecidos pelo Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro – PNGC, e pelas características físicas e biológicas visualizadas, toda a área está associada ao que se entende por paisagem costeira (BRASIL, 1988).

A paisagem da região metropolitana de Aracaju sofreu grandes modificações nos últimos anos, apresentando uma mistura de paisagens contrastantes. A presença de feições geomorfológicas frágeis, com alta variabilidade natural, onde estão ocorrendo as principais mudanças estruturais no uso e ocupação do solo, vem aumentando os riscos de consequências irreversíveis e exigindo grande atenção dos seus gestores (OLIVEIRA, 2017). Assim, é de grande importância o desenvolvimento de pesquisas que possam detectar mudanças e classificar o uso do solo de forma eficaz, reafirmando assim a relevância do presente estudo.

1.1 OBJETIVO GERAL

Analisar a fragmentação da paisagem costeira e sua evolução temporal aplicando os conceitos e as métricas da Ecologia de Paisagem para a Região Metropolitana de Aracaju.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Identificar as classes de uso do solo utilizando imagens de satélite temporais Landsat através do método Máxima Verossimilhança;
2. Validar a classificação do uso do solo, através da matriz de confusão e índice Kappa;
3. Quantificar as métricas da paisagem utilizando o Fragstats com ênfase nas suas principais características e tendências na área de estudo;

2 REVISÃO DE LITERATURA

Buscando dar embasamento à pesquisa, nesta seção serão abordados os temas conceituais e teóricos que servirão de alicerce para o desenvolvimento deste estudo, bem como para auxiliar na compreensão das análises e na interpretação dos dados. Para este fim são apresentados, inicialmente, alguns conceitos básicos sobre sensoriamento remoto e processamento digital de imagens no item 2.1, em seguida, no item 2.2 está retratada a ecologia da paisagem e suas formas de análise, e por fim, apresentado o item 2.3 a caracterização da área de estudo.

2.1 IMAGENS DE SATÉLITE E PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

As imagens de satélite são uma das principais fontes de dados para o Sensoriamento Remoto. Elas são o resultado da captação da radiação eletromagnética refletida de um objeto, transformado em um pulso eletrônico ou valor digital, denominado pixel.

Segundo Figueiredo (2005), elas são geradas quando a radiação eletromagnética (REM) é refletida da superfície dos alvos e incide em um espelho, que está a bordo de um sensor, e é posto geralmente à 45° sobre um eixo mecânico, o qual imprime um movimento ondulatório, de tal forma que a superfície do terreno é varrida em linhas perpendiculares à direção do movimento do satélite.

O sensor registra os *pixels* no formato de uma grade quadriculada (linhas e colunas), e o valor do *pixel* corresponde ao valor da radiância emitida pelos diferentes alvos que podem estar contidos dentro de um mesmo *pixel*. Partindo disso, de acordo com Meneses e Almeida (2012), pode-se definir qualquer imagem como sendo uma função bidimensional representada pela fórmula que consta na Equação 1.

$$f = (x,y) \quad (1)$$

2.1.1 Série LANDSAT e o mapeamento terrestre

Em relação às missões espaciais para fins de mapeamento, cita-se aqui neste trabalho, a que foi utilizada como fonte de materiais, no caso a série LANDSAT (*Land Remote Sensing Satellite*), desenvolvida pela NASA, cujo início se deu em meados da década de 1960. Porém seu primeiro satélite foi lançado em 1972, o *Earth Resources Technology Satellite* – ERTS1, posteriormente chamado de LANDSAT 1.

Ele foi o primeiro satélite desenvolvido para atuar diretamente em pesquisas voltadas aos recursos naturais (EMBRAPA, 2013). O principal objetivo do sistema LANDSAT foi o mapeamento multiespectral da superfície da Terra (EMBRAPA, 2013).

Notadamente, a série LANDSAT é a que possui mais registros da superfície terrestre, pois desde o lançamento do primeiro da série e por uma série de lançamentos consecutivos (LANDSAT 2, 3, 4, 5, 7 e 8), o fornecimento de dados de cobertura da terra foi praticamente ininterrupto. A captura de informações ocorreu num período em que a população global praticamente dobrou e quando também foi possível discernir os impactos ambientais causados pelas alterações climáticas que vêm ocorrendo ao longo dos anos (ROY *et al.*, 2014).

Como características gerais, cada satélite do LANDSAT produz imagens com 185 quilômetros de largura, 30 metros de resolução espacial e um período de revisita que pode variar de 16 a 18 dias.

O LANDSAT 5 foi lançado em 1984, com os sensores TM (*Thematic Mapper*) e MSS (*Multispectral Scanner System*) e oferece subsídios às pesquisas voltadas aos recursos naturais, operando com 7 bandas espectrais nas regiões do visível, infravermelho próximo, médio e termal (ver quadro 1).

Quadro 1 - Características do LANDSAT 5

LANDSAT 5 (Sensores TM e MSS)	Banda	Intervalo espectral (µm)	Resolução (metros)
	1	(0,45 - 0,52)	30
	2	(0,52 - 0,60)	30
	3	(0,63 - 0,69)	30
	4	(0,76 - 0,90)	30
	5	(1,55 - 1,75)	30
	6	(10,4 - 12,5)	120
	7	(2,08 - 2,35)	30

Fonte: Adaptado de INPE, 2017.

Com relação à resolução espacial, o LANDSAT 5 possui 30 metros nas bandas 1 a 5 e 7 e de 120 na banda 6. No entanto, em 1995 o sensor MSS deixou de enviar dados, restando somente o sensor TM, cuja operação durou até 2011. Em 2005 o sensor MSS foi reativado (EMBRAPA, 2013).

Em 2013, foi lançado o LANDSAT 8, que está constituído por dois sensores: o OLI (*Operational Land Imager*) e o TIRS (*Thermal Infrared Sensor*). Os produtos gerados pelo sensor OLI são constituídos por nove bandas espectrais (Quadro 2),

cada uma com resolução espacial de 30 metros para Bandas 1 a 7 e 9, a banda 8 é a pancromática com resolução espacial de 15 metros. Já as bandas 10 e 11, que pertencem ao sensor TIRS, são coletadas com 100 metros de resolução, mas são reamostradas para 30 metros. Essas bandas são úteis para proporcionar dados relacionados às temperaturas de superfícies (USGS, 2017).

Quadro 2 - Características do LANDSAT 8

LANDSAT 8 Operational Land Imager (OLI) e Thermal Infrared Sensor (TIRS)	Bandas	Comprimento de Onda (micrômetros)	Resolução (metros)
	Banda 1 - Ultra Blue (coastal/aerosol)	0.43 - 0.45	30
	Banda 2 - Blue	0.45 - 0.51	30
	Banda 3 - Green	0.53 - 0.59	30
	Banda 4 - Red	0.64 - 0.67	30
	Banda 5 - Near Infrared (NIR)	0.85 - 0.88	30
	Banda 6 - Shortwave Infrared (SWIR) 1	1.57 - 1.65	30
	Banda 7 - Shortwave Infrared (SWIR) 2	2.11 - 2.29	30
	Banda 8 - Panchromatic	0.50 - 0.68	15
	Banda 9 - Cirrus	1.36 - 1.38	30
	Banda 10 - Thermal Infrared (TIRS) 1	10.60 - 11.19	100 * (30)
	Banda 11 - Thermal Infrared (TIRS) 2	11.50 - 12.51	100 * (30)
	* As bandas TIRS são adquiridas com uma resolução de 100 metros, mas são reamostradas à 30 metros no produto de dados fornecido.		

Fonte: Adaptado de USGS, 2017.

2.1.2 Processamento e uso de imagens de Sensoriamento Remoto

Ao manipular as imagens destacam-se um conjunto de técnicas e métodos que de forma geral podem ser chamados de PDI (Processamento Digital de Imagens) onde o mesmo pode ser definido como a execução de técnicas voltadas para a análise de dados multidimensionais adquiridos por diversos tipos de sensores, sendo aplicadas operações matemáticas sobre esses dados, com o objetivo da transformação de uma imagem com melhores qualidades espectrais e espaciais, tornando-as mais apropriadas a determinadas aplicações.

Nesta pesquisa alguns processamentos digitais foram necessários para atender os objetivos propostos entre elas a classificação das imagens, que consiste

na extração de amostras dos *pixels* para reconhecer padrões e objetos homogêneos no intuito de reconhecer áreas similares da superfície terrestre. O resultado de uma classificação é um mapa temático, onde cada cor está associada a uma classe (GONZALES e WOODS, 2008; INPE, 2017).

Existem dois tipos de classificadores: *pixel a pixel*, que leva em consideração a informação espectral de cada *pixel*; e por regiões, que além de analisar a informação do *pixel*, envolve a relação do mesmo com sua vizinhança. Mais detalhes sobre este método podem ser encontrados em INPE (2017).

Neste trabalho, será dada ênfase aos classificadores “*pixel a pixel*”, mais especificamente aos métodos de classificação supervisionada. Este tipo de classificação demanda o conhecimento prévio de alguns aspectos da área. Para tanto, o ponto de partida da classificação é o treinamento, que é o reconhecimento da assinatura espectral das classes.

No caso em que existem regiões da imagem onde o usuário dispõe de informações que permitem a identificação de uma classe de interesse, têm-se uma classificação supervisionada. É importante que as informações para treinamento tenham várias amostras e que sejam coletadas de uma área homogênea para a obtenção de classes confiáveis após o processamento.

Alguns métodos de classificação supervisionada *pixel a pixel* são destacados, dentre eles: 1 – Paralelepípedo, que define áreas quadradas em paralelepípedo limitadas pelo maior e menor valor de *pixels* em conjuntos pré-selecionados na etapa de treinamento e que representarão uma determinada classe; 2 – Distância Mínima, que classifica cada *pixel* na classe cuja média possui menor distância em relação ao referido *pixel*; 3 – Máxima Verossimilhança (MAXVER), que considera a ponderação das distâncias entre médias dos níveis digitais das classes, utilizando parâmetros estatísticos; e 4 – MAXVER-ICM, que além de associar classes considerando pontos individuais da imagem, também considera a dependência espacial (INPE, 2017).

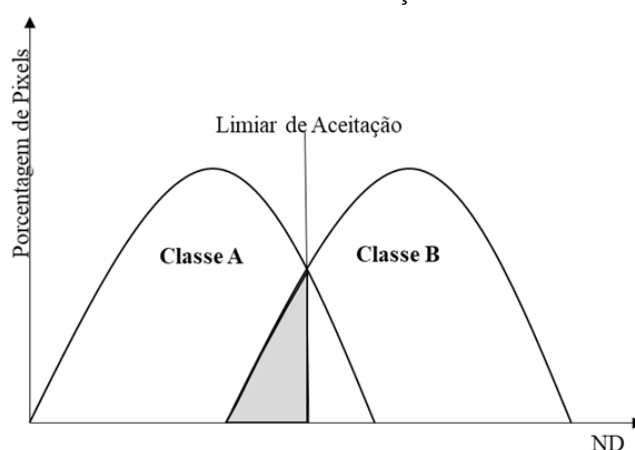
2.1.2.1 Método da Máxima Verossimilhança

Máxima Verossimilhança é um tipo de método de classificação supervisionada do tipo “*pixel a pixel*” e considerado paramétrico, pois utiliza a média e covariância das amostras de treinamento, e assume que as classes possuem distribuição normal, considerando a ponderação das distâncias entre médias dos níveis digitais das

classes (INPE, 2017). Ele considera que a classificação equivocada de um *pixel* específico não sobrepõe a classificação errada de outro *pixel* (RICHARDS & JIA, 2006).

Para assegurar a precisão da classificação pelo método da máxima verossimilhança, é necessário um número de amostras para cada classe, são os conjuntos de treinamento, os quais definem o diagrama de dispersão das classes e suas distribuições de probabilidade (Figura 1). Desta maneira pode ser calculada a probabilidade de um *pixel* desconhecido pertencer a uma determinada classe e, em seguida, ele é classificado na classe onde a probabilidade tenha sido maior, levando em consideração um limite estipulado pelo pesquisador (NASCIMENTO, 2003).

Figura 1 – Diagrama de Dispersão de distribuição de probabilidade de um *pixel* no método de Máxima Verossimilhança



Fonte: Adaptado de INPE, 2017.

Em uma situação onde há duas classes com distribuições de probabilidades diferentes, as quais representam a probabilidade de um *pixel* pertencer ou não à uma determinada classe, o diagrama de dispersão possui uma região onde as duas curvas se sobrepõem. Essa região indica que, dependendo da posição do *pixel* em relação à sua distribuição, um ele tem igual probabilidade de pertencer às duas classes, no entanto, é definido um limiar de aceitação que indica a porcentagem de *pixels* que dentro dessa região que serão classificados como pertencentes à uma ou outra classe (Figura 1).

Segundo Nascimento (2003), um limiar de aceitação de 99%, por exemplo, engloba 99% dos *pixels*, sendo que 1% serão ignorados (os de menor probabilidade), compensando a possibilidade de alguns *pixels* terem sido incorretamente introduzidos nesta classe durante o treinamento, ou estarem no limite entre duas classes. Já um

limiar de 100% terá todos os *pixels* classificados. A confusão entre classe pode ser minimizada avaliando a matriz de classificação das amostras, que apresenta a distribuição de percentagem de *pixels* classificados correta e erroneamente.

2.1.2.2 Avaliação da Acurácia da Classificação através da Matriz de confusão e índice Kappa

Segundo Novo (2010) é necessário, após a classificação de imagens digitais, realizar uma avaliação para verificar a exatidão dos seus resultados, ou seja, verificar quão verossímeis são as informações geradas pela classificação em relação à realidade. Desta maneira, Congalton (1991) afirma que uma das técnicas mais utilizadas na avaliação da classificação de dados provenientes do Sensoriamento remoto é a matriz de erro – ou matriz de confusão.

A matriz de confusão é uma matriz quadrada de números definidos em linhas e colunas que, normalmente apresentam o número de linhas e o número de colunas igual ao número de classes espectrais do estudo (MENEZES e ALMEIDA, 2012). No quadro 3 têm-se o modelo genérico de uma matriz de confusão baseado em Congalton (1991).

Quadro 3 – Modelo genérico da Matriz de confusão

		Classificação					
		a	b	c	...	z	Total
Verdade	a	X_{aa}	X_{ab}	X_{ac}	...	X_{az}	X_{a+}
	b	X_{ba}	X_{bb}	X_{bc}	...	X_{bz}	X_{b+}
	c	X_{ca}	X_{cb}	X_{cc}	...	X_{cz}	X_{c+}
	⋮	⋮	⋮	⋮	...	⋮	⋮
	z	X_{za}	X_{zb}	X_{zc}	...	X_{zz}	X_{z+}
	Total	X_{+a}	X_{+b}	X_{+c}	...	X_{+z}	n

Fonte: Adaptado de Congalton (1991)

Na prática, a matriz de confusão compara, classe por classe, verificando se a classe ao qual aquele objeto foi incluído corresponde à sua verdadeira classe. Geralmente, as colunas representam os dados de referência, enquanto as linhas representam a classificação gerada a partir dos dados de sensoriamento remoto. Através da matriz de confusão obtém-se o índice de Exatidão Global (Equação 2), a

Acurácia do usuário (Equação 3) e a Acurácia do produtor (Equação 4), que são técnicas estatísticas descritivas para validação da classificação.

$$F_m = \frac{\sum X_1}{N} \cdot 100, \quad (2)$$

onde:

F_m = Exatidão Global;

X_1 = elementos da diagonal; e

N = total de elementos amostrados.

$$F_u = \frac{X_{ii}}{X_{i+}} \cdot 100, \quad (3)$$

onde:

F_u = Acurácia do usuário (%);

X_{i+} = marginal da linha; e

X_{ii} = diagonal da linha.

$$F_p = \frac{X_{ii}}{X_{+i}} \cdot 100, \quad (4)$$

onde:

F_u = Acurácia do usuário (%);

X_{+i} = marginal da linha; e

X_{ii} = diagonal da linha.

Em relação a avaliação de acurácia da classificação, ela pode ser obtida através de diversos índices, destacando-se o índice Kappa (COHEN, 1960). Esse índice consiste numa técnica discreta multivariada comumente utilizada na avaliação da acurácia e utiliza todos os elementos da matriz de erro em seu cálculo, que pode ser visto na equação 5.

$$\hat{K} = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} * x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} * x_{+i})}, \quad (5)$$

onde:

r = Números de linhas da matriz;

x_{ii} = Número de observações i na linha i ;

x_{i+} e x_{+i} = Totais marginais da linha i e da coluna j , respectivamente; e

N = Número total de observações.

O índice Kappa que é baseado no número de respostas concordantes, ou seja, no número de casos cujo resultado é o mesmo. Este índice mede o grau de concordância além do que seria esperado pelo acaso (BALTAR e OKANO, 2017). De acordo com Landis e Koch (1977), o quadro 4 apresenta os valores do Kappa, os

quais variam de 0 a 1, onde 1 representa total concordância e à medida que se aproxima do 0, a concordância diminui.

Quadro 4 – Valores de Índice Kappa

Índice Kappa	Concordância
< 0	Péssimo
0.00 a 0.20	Ruim
0.21 a 0.40	Razoável
0.41 a 0.60	Moderado/Bom
0.61 a 0.80	Muito Bom
0.81 a 1.00	Excelente

Fonte: Adaptado de Landis e Koch, 1977.

2.2 O CONCEITO DE PAISAGEM APLICADO NOS ESTUDOS SÓCIOAMBIENTAIS

Na ciência geográfica, a paisagem é uma categoria de análise que visa entender o produto fisionômico das relações sociais e naturais em um determinado espaço e em sua dinâmica (SCHIER, 2003). Entretanto, como esta categoria não pertence exclusivamente à ciência geográfica, ela apresenta diferentes visões epistemológicas que possibilitaram distintas abordagens, aplicações e divergências (CÔRREA e ROSENDAHL, 1998; MARTINS, *et al.*, 2004; RODRIGUEZ *et al.*, 2007).

Na Ecologia, os Ecossistemas e as Paisagens são as duas principais categorias de análise. Já na Geografia, Carl Troll, na década de 1930, analisou questões relacionadas ao uso da terra e conseguiu interpretar as paisagens produzidas através do significado dado pelas ações antrópicas. E foi através destas percepções que Troll, propôs que geógrafos e ecólogos trabalhassem em estreita contribuição (NUCCI, 2007).

Desta maneira, podem-se distinguir duas principais abordagens para o estudo da paisagem: a ecológica, que enfatiza a importância do contexto espacial sobre os processos ecológicos e a importância dessas relações entre os elementos físico-biológicos; e a geográfica, que privilegia a influência das transformações promovidas pelo homem sobre a paisagem e a gestão do território. Esta última denomina-se Geoecologia da Paisagem.

Foi a partir da noção de que a paisagem é um produto construído no tempo histórico a partir das relações dinâmicas entre os elementos naturais e as ações

humanas que Bertrand (1972, p. 141), ao descrever a paisagem, atribui-lhe uma identidade que a diferencia das outras,

A paisagem não é a simples adição de elementos geográficos disparatados. É, em uma determinada porção do espaço, o resultado da combinação dinâmica, portanto instável, de elementos físicos, naturais e antrópicos que, reagindo dialeticamente uns sobre os outros, fazem da paisagem um conjunto único e indissociável, em perpétua evolução. [...] É preciso frisar que não se trata somente da paisagem "natural", mas da paisagem total integrando todas as implicações da ação antrópica.

Metzger (2001), afirma que a abordagem geográfica, diferente da ecológica, não se aprofunda em estudos bioecológicos (relação entre a biota e o meio abiótico), mas considera suas relações na compreensão global da paisagem, deixando evidente que é cada vez mais necessário entender não só as transformações, mas o porquê destas. Sendo assim, o mesmo autor define a Ecologia de Paisagem como uma ecologia de interações espaciais entre as unidades da paisagem, pois tem como ponto central o reconhecimento da existência de uma dependência espacial entre as unidades da paisagem (METZGER, 2001).

2.2.1 Ecologia da Paisagem

O termo "Ecologia da Paisagem" foi utilizado pela primeira vez em 1939, pelo biogeógrafo alemão Carl Troll, e seu ponto de partida está na observação das inter-relações da biota (incluindo o homem) com o seu ambiente como um todo (METZGER, 2001). Desta maneira, a Ecologia da Paisagem focaliza em três características da paisagem (Estrutura, Função e Mudança) podendo ser estudada a partir de duas abordagens distintas, uma geográfica e uma ecológica.

A ecologia humana da paisagem tem um viés mais geográfico, estando centrada nas interações do homem com seu ambiente e onde a paisagem é vista como o fruto da interação Sociedade X Natureza. Já a ecologia espacial da paisagem direciona as discussões para a compreensão das consequências do padrão espacial nos processos ecológicos (METZER, 2001).

Nesse sentido, têm-se discutido que o desafio da Ecologia da Paisagem é entender como diferentes padrões de organização espacial e seus constituintes influem sobre o funcionamento da paisagem como um todo. Além disso, ela busca entender as modificações estruturais e funcionais desencadeadas pelo homem no

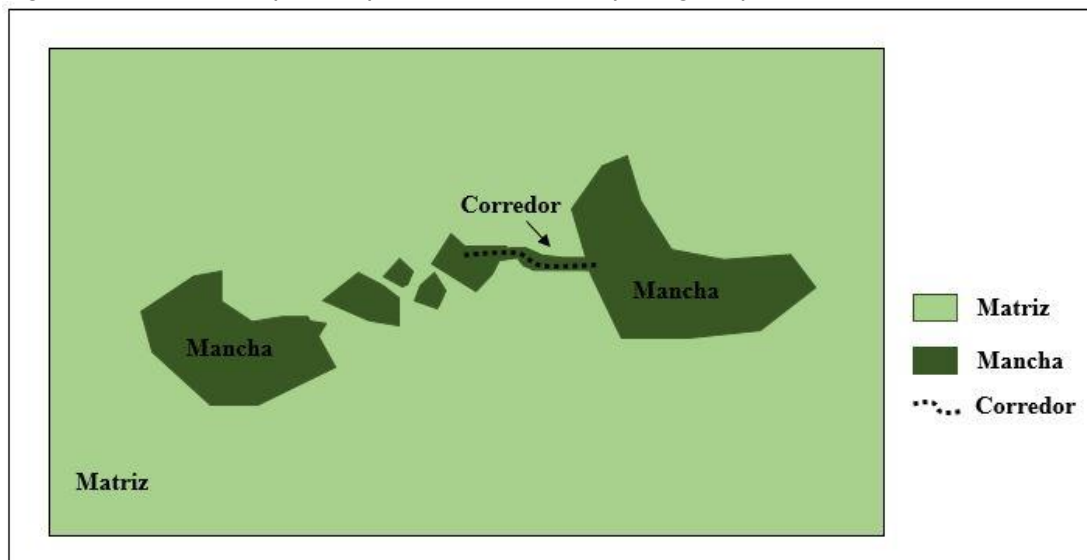
mosaico, que é a Paisagem, incorporando à análise toda a complexidade das inter-relações espaciais de seus componentes naturais e culturais.

2.2.2 Estrutura da Paisagem

As estruturas que compõem a paisagem são manifestações espaciais e temporais de processos que ocorrem em diferentes escalas (FORMAN e GODRON, 1986; TURNER e GARDNER, 2001). O estudo da estrutura da paisagem visa compreender o padrão e o ordenamento espacial das unidades da paisagem.

Sua composição se dá por três tipos distintos de elementos – Manchas, corredores e matriz (Figura 2), cuja combinação permite a comparação entre as distintas paisagens (FORMAN e GODRON, 1986).

Figura 2 – Elementos que compõem a estrutura da paisagem (manchas, corredores e matriz)



Fonte: A autora (2018) baseado em Forman e Gordon (1986)

As manchas podem ser definidas como superfícies não lineares, diferindo da sua vizinhança. Elas podem variar de tamanho, forma, tipo, heterogeneidade e características de borda. Os aspectos que podem controlar e influenciar essas manchas são: seu tamanho, onde a dimensão da mancha influencia o nível de energia e nutrientes disponíveis; e sua forma, pois quanto mais irregular a forma, maior será a proporção de áreas que tem características próprias de grande diversidade e dinâmica, mas são diferentes das comunidades do seu interior (METZER, 2001).

Os corredores são áreas homogêneas e lineares, onde uma das principais características é a conectividade. Eles representam cinco funções - hábitat, conduta, filtro, fonte, sumidouro – e podem ser classificados de acordo com sua estrutura: corredores em linha, corredores ripícolas, corredores de interflúvio, corredores de grelha e corredores segmentados (FORMAN e GODRON, 1986).

A matriz é um dos elementos fundamentais da paisagem, pois desempenha um papel dominante para o seu funcionamento e tem um maior grau de conexões entre os fragmentos. Sua definição é subjetiva, no entanto deve-se obedecer alguns critérios – área relativa, quando um tipo de elemento da paisagem é mais extenso que outros, deve-se considera-lo como matriz; conectividade, pois é o elemento mais conectado com as demais manchas; e controle da dinâmica, pois a matriz exerce um maior controle da dinâmica da paisagem, podendo prever a configuração da paisagem futura (FORMAN e GODRON, 1986).

Esses conceitos são utilizados para definir a fragmentação da paisagem, que consiste no processo no qual uma grande extensão de área é transformada em certo número de manchas menores, isoladas umas das outras por uma matriz diferente (WILCOVE, MCLELLAN e DOBSON, 1986).

2.2.3 Métricas da Paisagem

Para a análise quantitativa da paisagem, foi desenvolvido um conjunto de métodos, baseados em índices numéricos, que podem quantificar os atributos espaciais da paisagem e compreender o funcionamento da sua dinâmica, são as métricas da paisagem (VOLOTÃO, 1998). Segundo Carrão *et al.* (2001), a utilização das métricas vêm ganhando cada vez mais atenção, na medida em que auxiliam a compreensão da complexa estrutura das paisagens e a forma como as relações ecológicas são influenciadas por elas. Um dos fatores que alavancaram a popularização das métricas e seu emprego em Ecologia de Paisagens foi a disponibilização de recursos computacionais cada vez mais refinados e a utilização de técnicas de Sensoriamento Remoto (FROHN, 1998).

Tendo em vista que o objetivo principal das métricas é possibilitar uma análise quantitativa dos padrões espaciais da paisagem, bem como entender como se dá o desenvolvimento da dinâmica espacial que a compõe, estão inseridos os índices, que se baseiam na distribuição, forma e arranjo espacial dos fragmentos. Assim, a

quantificação pode ser feita em três níveis de análise, sendo eles: a resolução de cada fragmento, a escala da classe e a escala da paisagem total.

O'Neill *et al.* (1988), afirma que a aplicação dos índices das métricas foram criados no intuito de minimizar a necessidade de informação adquirida em campo. Com isso, são proporcionadas novas maneiras de análise, juntamente com o Sensoriamento Remoto a fim de acompanhar as transformações ocorridas em uma determinada época ou série temporal, facilitando a compreensão da evolução do território.

A utilização das métricas, além de analisar os valores numéricos, tem sua correta aplicação atrelada ao conhecimento dos parâmetros e fenômenos envolvidos, uma vez que, isoladamente, nenhum deles pode proporcionar a correta interpretação da condição de uma paisagem.

Atualmente, para a aplicação das métricas, foram desenvolvidos alguns *softwares* e aplicativos, sendo o Fragstats (MCGARIGAL e MARKS, 1995) o *software* mais utilizado na definição de padrões para os estudos estatísticos da paisagem. Ele pode quantificar a fragmentação da paisagem fornecendo valores de extensão de área e distribuição espacial de fragmentos, por exemplo. Outra ferramenta que também é bastante utilizada, é a *Patch Analyst*, que foi desenvolvida para ser aplicada no *software ArcGIS (ESRI)*. Um diferencial entre as duas aplicações é que o Fragstats tem licença gratuita e a *Patch Analyst*, está atrelada a licença do *software ArcGIS*.

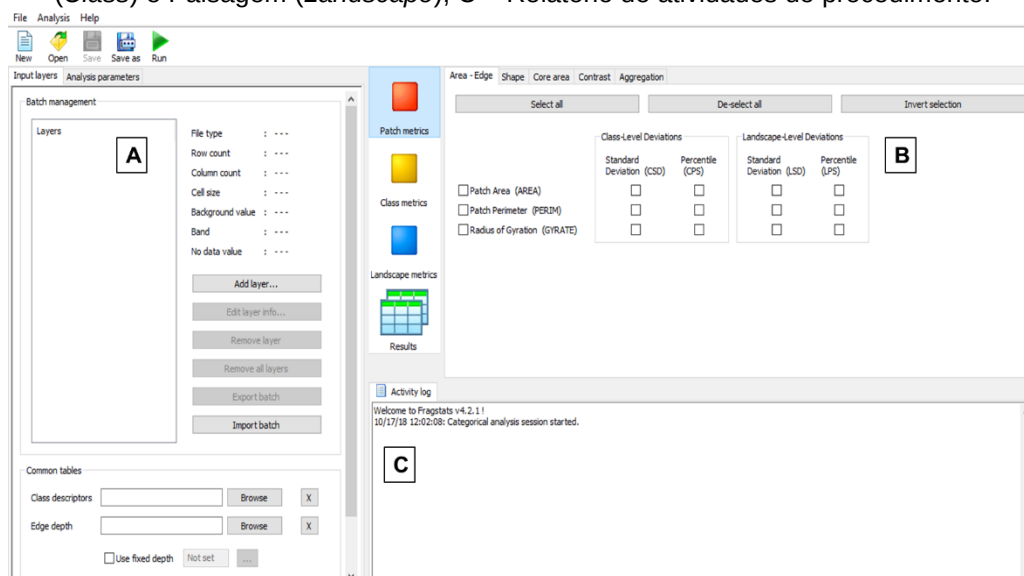
2.2.4 Software Fragstats

O *software* Fragstats é um dos mais utilizados na análise quantitativa da estrutura da paisagem, sendo considerada a ferramenta mais abrangente para a análise quantitativa da estrutura (LANG e BLASCHKE, 2009). A versão original do Fragstats, publicada em 1995, foi desenvolvida pelo Dr. Kevin McGarigal e Barbara Marks, da *Oregon State University* (MCGARIGAL, 2017). Atualmente, o *software* está na sua versão 4.2 e está disponível para *download* gratuito através do link: http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/downloads/fragstats_downloads.html.

As métricas estão divididas em três níveis de análise (Figura 3), os quais são baseados na estrutura da paisagem, são elas: fragmento ou *patch* (caracteriza os fragmentos individualmente), classe ou *class* (analisa a configuração dos fragmentos

de uma determinada classe, identificando as classes que compõem a cobertura do solo) e paisagem ou *landscape* (caracteriza as estruturas da paisagem como um todo) (MCGARIGAL e MARKS, 1995; LANG & BLASCHKE, 2009).

Figura 3 – Interface do *software* para nova análise; A – Entrada da imagem e definição dos parâmetros; B – Seleção das métricas a serem calculadas nos níveis de Fragmento (*patch*), Classe (*Class*) e Paisagem (*Landscape*); C – Relatório de atividades do procedimento.

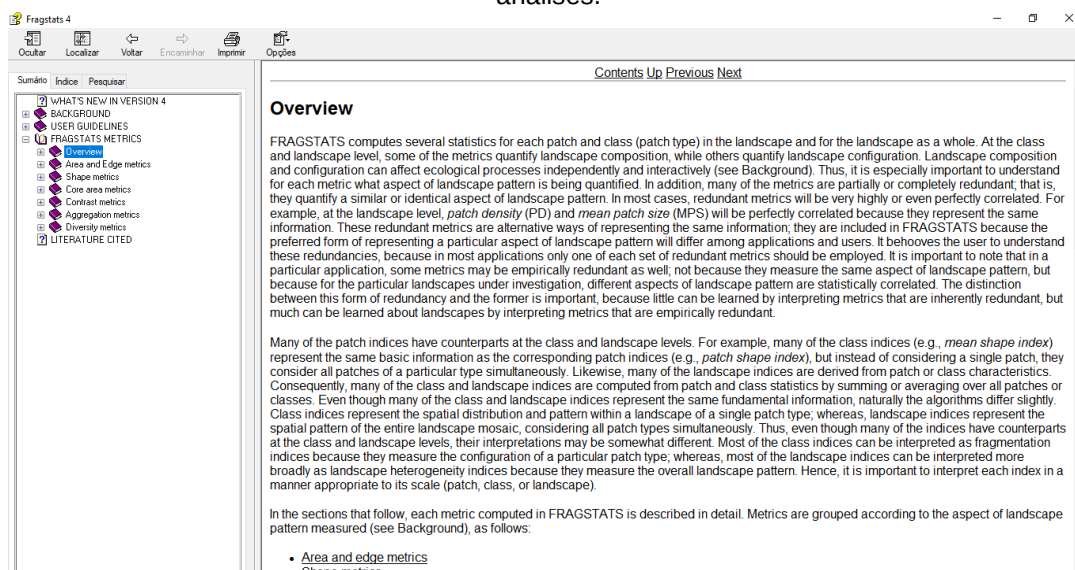


Fonte: Adaptado de MCGARIGAL e ENE, 2015.

Cada categoria e suas principais funções foram descritas por (MCGARIGAL e MARKS, 1995), sendo: área – indicam as dimensões dos fragmentos da paisagem; fragmentos – caracterizam os fragmentos; borda – Indicam o quanto os fragmentos são influenciados pelo efeito de borda; forma – relaciona o tamanho e a forma dos fragmentos e analisa a relação com o efeito de borda; área central (*core*) – É definida por um fragmento separado da borda à uma distância pré-definida. Vizinho mais próximo – baseiam-se na distância até o vizinho mais próximo e tem implícitos os graus de isolamento dos fragmentos; contágio e mistura – visam a quantificação da paisagem como um todo, em relação à disposição das classes da paisagem; e diversidade – visam quantificar a composição da paisagem.

O programa proporciona uma volumosa documentação das métricas implementadas, descrevendo não somente as fórmulas, mas apresentando uma discussão detalhada sobre sua origem e aplicabilidade, ajudas na interpretação, entre outras facilidades que foram responsáveis por sua popularidade (LANG e BLASCHKE, 2009) (Figura 04).

Figura 4 – Na aba "Ajuda" do software são encontrados os materiais de apoio para realização das análises.



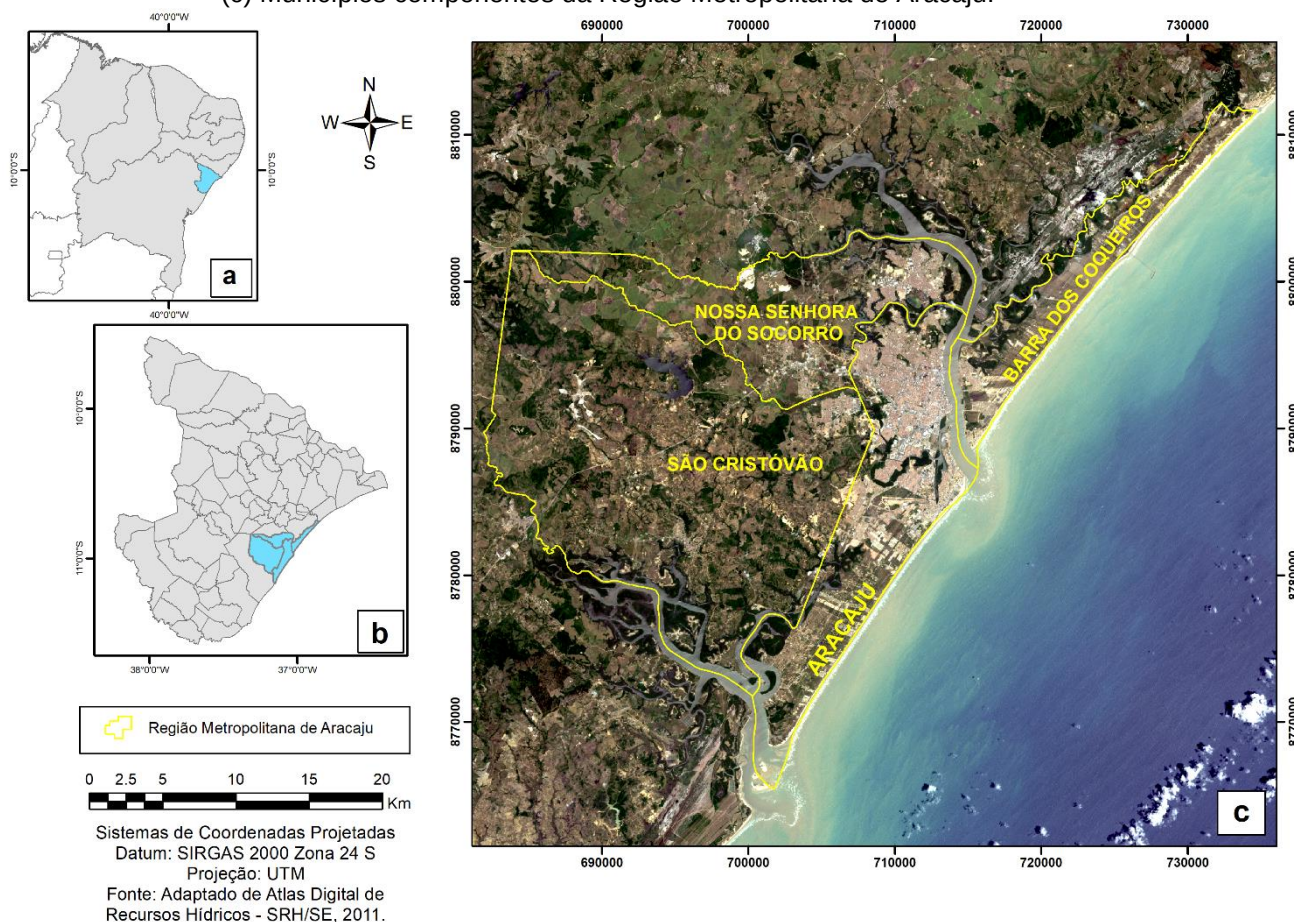
Fonte: Adaptado de McGarigal e Ene, 2015.

Além disso, existem tutoriais disponibilizados na *internet* por grupos de estudos, que indicam a maneira correta de inserção dos dados no *software*, bem como a definição dos parâmetros iniciais. Em seguida, com os resultados gerados pelo *software*, é possível manipulá-los conforme necessidade do estudo, gerando tabelas e gráficos.

2.3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A Região Metropolitana de Aracaju (RMA) foi criada pela Lei Complementar Estadual nº 25, de 29 de dezembro de 1995. Em seu Art. 2 consta que a Região Metropolitana de Aracaju apresentada na Figura 5 é constituída pelo agrupamento dos municípios de Aracaju, São Cristóvão, Nossa Senhora do Socorro e Barra dos Coqueiros, tendo como sede o Município de Aracaju.

Figura 5 – (a) Localização de Sergipe em relação ao Nordeste. (b) Destaque da R.M.A em Sergipe. (c) Municípios componentes da Região Metropolitana de Aracaju.

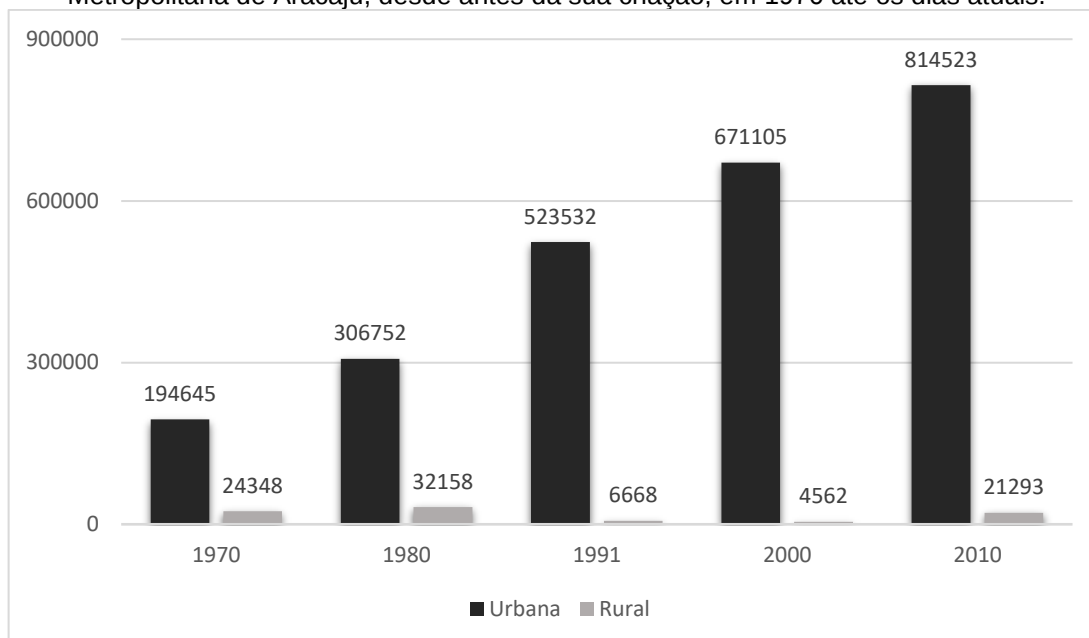


O processo de metropolização de Aracaju seguiu o modelo de desenvolvimento proposto pela Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), que fomentou a industrialização de regiões periféricas na Região Nordeste (SOUZA, 2009). Como consequência, observou-se um processo de desvalorização da agricultura em detrimento do processo de industrialização pelo qual o Estado de Sergipe foi submetido a partir da década de 70. Desta maneira, a capital Aracaju, começou a atrair um grande número de pessoas de todas as regiões do Estado, as quais viram nas indústrias, recentemente instaladas, uma oportunidade de melhoria de vida (MENEZES e VASCONCELOS, 2011).

Com a consolidação da industrialização, a intensificação da urbanização e a especulação imobiliária, os fluxos migratórios para Aracaju e regiões adjacentes foram transformando e dinamizando o espaço. Como consequência, a cidade foi se expandindo para os municípios vizinhos através da implantação de conjuntos

habitacionais e loteamentos, impactando na configuração territorial da região e aumentando a complexidade da dinâmica urbana (FRANÇA, 2005).

Figura 6 – Gráfico demonstrativo das mudanças no perfil da população urbana e rural da Região Metropolitana de Aracaju, desde antes da sua criação, em 1970 até os dias atuais.



Fonte: Censos Demográficos do IBGE de 1970, 1980, 1991, 2000 e 2010.

Segundo Machado (1990), entre as décadas de 80 e 90, houveram alterações na legislação urbanística, fazendo com que áreas rurais passassem a ser consideradas áreas de expansão urbana – devido à construção dos conjuntos habitacionais. Desta maneira, a partir do censo demográfico de 1991 (Figura 6), a população dessas áreas passou a ser contabilizada como população urbana, o que ocasionou uma variação brusca entre população urbana e rural.

Entre os censos demográficos de 2000 e 2010, o crescimento da população urbana e rural esteve condicionado pela ocupação marginal nas bordas dos conjuntos habitacionais. Assim, embora tenha acontecido em um ritmo menos intenso nesse período, o crescimento populacional ainda era impulsionado ao processo migratório para os municípios da Região Metropolitana de Aracaju.

Neste período, também foi observado um crescimento da população rural mais significativo que nas décadas anteriores, o qual pode estar relacionado, entre outros fatores, à implantação de políticas agrárias e os avanços do Movimento Sem Terra – MST, em âmbito nacional, regional e local.

No tocante aos aspectos físicos, o Estado de Sergipe está inserido na unidade geotectônica Bacia Sedimentar Sergipe/Alagoas e litologias associadas ao Grupo

Barreiras e Formações Superficiais Cenozóicas, ou seja, depósitos sedimentares recentes (SANTOS *et al.*, 1998), resultantes de variações do nível do mar e episódios de regressão e transgressão marinha (BITTENCOURT *et al.*, 1983). A RMA se insere nesse contexto geológico e geomorfológico, apresentando as unidades geomorfológicas Tabuleiros Costeiros e Planície Costeira e altitudes de até, aproximadamente 170 metros (BRASIL, 1983).

A geomorfologia da área de estudo é composta, principalmente, pelas unidades geomorfológicas Planície Costeira, cuja composição se dá por, respectivamente, terraços marinhos holocênicos, depósitos de mangue e depósitos eólicos e Tabuleiros Costeiros, caracterizados por relevos dissecados em colinas e interflúvios, com solos profundos e de baixa fertilidade, destacando-se os Latossolos, Argissolos e Neossolos Quartzarênicos (EMBRAPA, 2014).

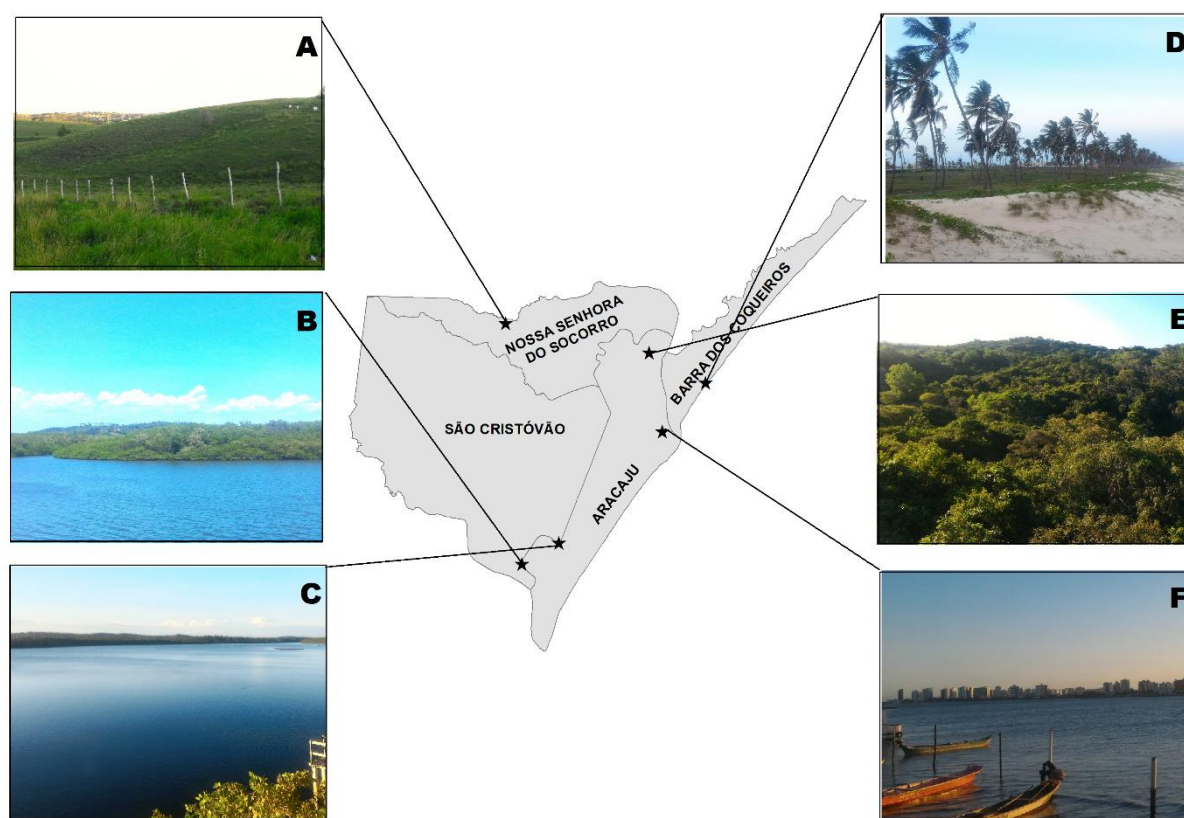
Com relação às características climatológicas, a área de estudo apresenta clima predominantemente quente e úmido, com temperaturas médias anuais de 27°C, sendo os meses mais quentes fevereiro e março e os meses mais amenos, julho e agosto. No tocante à precipitação pluviométrica, a média anual é de aproximadamente 1600 mm (SRH, 2016), com concentração de chuvas nos meses de março a agosto. Na Orla Marítima de Aracaju, os ventos são provenientes de Nordeste, Leste e Sudeste, sendo que os ventos de SE ocorrem no período chuvoso e os ventos de NE e E, no período seco (INMET, 2013).

Com relação às características hidrográficas, a área de estudo é drenada e abastecida pelos canais das Bacias Hidrográficas do Rio Sergipe e Vaza-Barris, contando com 9 fontes de captação. Além disso, o controle do uso dos recursos hídricos é proporcionado pela Barragem do Poxim-Açu, pertencente à Bacia Hidrográfica do Rio Sergipe e afluentes do rio Vaza-Barris.

Nos quatro municípios que compõem a área de estudos, SERGIPE (2011) mapeou 15 tipos distintos de uso do solo. Destes, caracterizam-se como aspectos fitogeográficos a Floresta Ombrófila – formação vegetal típica de clima úmido e associadas às altitudes do Grupo Barreiras; Floresta Estacional – vegetação adaptada a um ritmo estacional; Mangue, cuja vegetação se dá em ambientes costeiros sob forte influência de oscilação de marés, como o caso das espécies *Rhizophora mangle*, *Laguncularia racemosa*, *Avicennia germinans* e *Avicennia schaueriana*, que são frequentemente encontradas na área de estudo; e Vegetação de Restinga com espécies que recebem influência marinha direta e são capazes de colonizar areias

desnudas fixando-as solidamente (BRASIL, 2006). Estes e outros tipos de uso do solo podem ser observados na Figura 7.

Figura 7 – Alguns tipos de uso do solo encontrados na área de estudo. A – Área de Pastagem em vertentes no município de Nossa Senhora do Socorro; B – Manguezal às margens do rio Santa Maria, entre os municípios de Aracaju e São Cristóvão. C – Curso d'água do rio Vaza Barris na região limítrofe dos municípios de Aracaju e São Cristóvão; D – Vegetação de Restinga fixando as areias das dunas, ao fundo o cultivo de coco no município de Barra dos Coqueiros; E – Área de Floresta Ombrófila encontrada dentro da APA do Morro do Urubu, em Aracaju; F – Região do Centro de Aracaju, vista de Barra dos Coqueiros.



Ao analisar o Atlas Digital elaborado por SERGIPE (2011), dentre os outros tipos de uso encontrados na área destacam-se a presença de 4 Unidades de Conservação - APA Morro do Urubu (Aracaju), Parque Municipal Ecológico do Tramandaí (Aracaju), Paisagem Natural Notável (Aracaju/Barra dos Coqueiros) e Floresta Nacional do Ibura - FLONAI (Nossa Senhora do Socorro), o Parque Eólico de Barra dos Coqueiros, que é constituído por vinte e três unidades aerogeradoras totalizando 34,5 MW de capacidade instalada, a presença de uma comunidade quilombola urbana – A Maloca, e 11 (onze) indústrias relacionadas à extração e manipulação mineral.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção serão apresentados os materiais utilizados e a metodologia empregada para a execução da pesquisa.

3.1 RECURSOS MATERIAIS

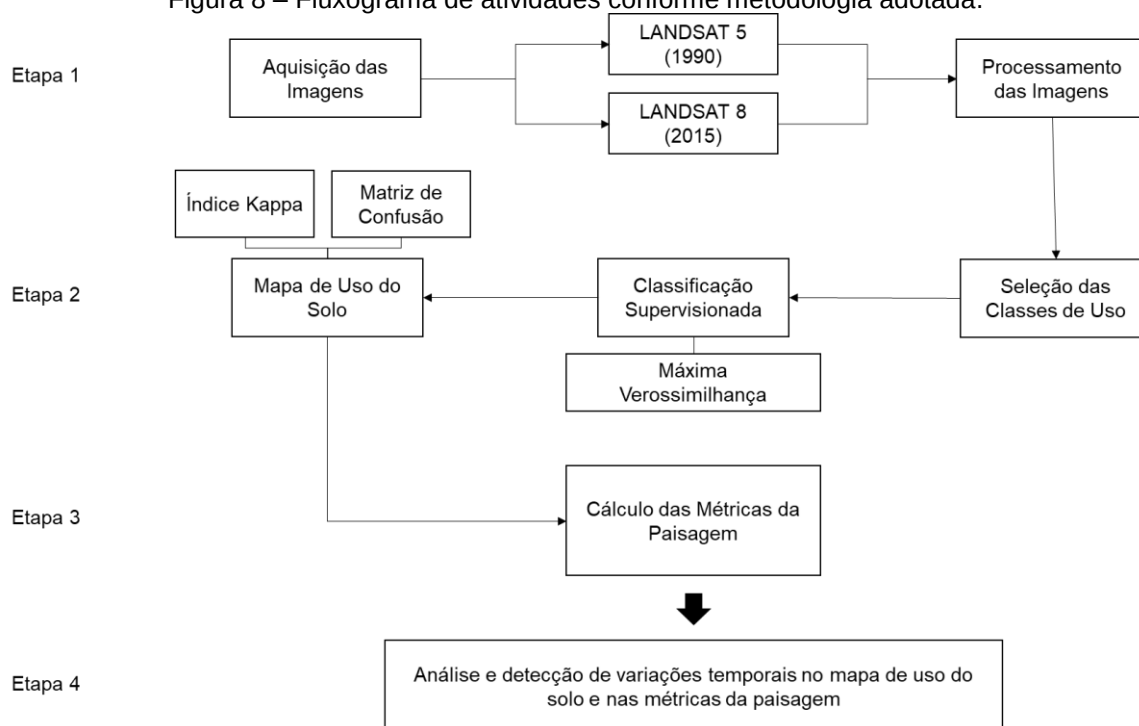
Os critérios de seleção para as imagens de satélite foram baseados na baixa quantidade de nuvens e no enquadramento que recobre a área de estudo. As cenas utilizadas foram: LANDSAT 5 – Data: 11/12/1990, órbita: 215, pontos: 067 e 068; e LANDSAT 8 – Data: 16/11/2015 órbita: 215, pontos: 067 e 068. Ambas obtidas através do catálogo de imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Para o registro das imagens e mosaico foi utilizado o *software ArcGIS versão 10.1 (ESRI)*. Já para os processamentos de composição RGB e classificação foi utilizado o *software Spring versão 5.2.7*. Para a escolha das classes de uso do solo, foram tomados como base os mapas disponibilizados no Atlas Digital de Sergipe (SERGIPE, 2011). A aplicação das métricas foram executadas utilizando o *software Fragstats versão 4.2 (MCGARIGAL e MARKS, 1995)* e a tabulação dos dados foi executada no *Microsoft Excel*.

3.2 METODOLOGIA

A figura 8 apresenta o fluxograma representando as 4 etapas dos procedimentos metodológicos da pesquisa.

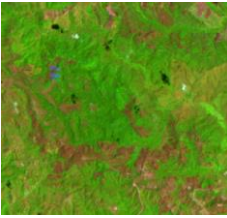
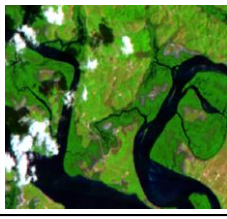
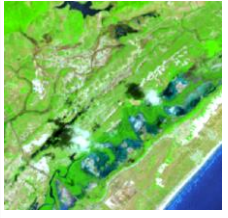
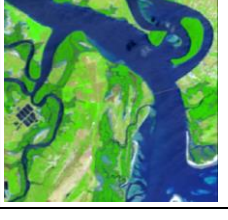
Figura 8 – Fluxograma de atividades conforme metodologia adotada.



A **etapa 1** se refere à aquisição das imagens de satélite para os anos de 1990 e 2015, ambas foram recortadas conforme a área de estudo e preparadas para o processo de classificação supervisionada. Na preparação foram feitos os pré-processamentos de mosaicagem das cenas para transforma-las em uma nova imagem (formato *raster*) e, em seguida, foi feito o recorte do polígono de abrangência da área de interesse.

Já na **etapa 2**, foram selecionadas as classes para o mapa de uso do solo por meio da interpretação de imagens (Figura 9), e feita a classificação supervisionada através do método da Máxima Verossimilhança (item 2.1.1).

Figura 9 – Classes de uso do solo e os respectivos objetos de interesse para a classificação.

CLASSES	AMOSTRAS Escala 1:50.000		CONTEXTO
	1990 LANDSAT 5	2015 LANDSAT 8	
Floresta			Identificada pela cor verde escuro e localização, geralmente em topos de feições.
Mangue			Localizado em ambiente estuarino sob influência marinha, mostra-se na cor verde escuro.
Restinga			Caracterizada por solo arenoso, com formações vegetais espaçadas.
Cultivo e/ou Pastagem			Localizados em vertentes ou recortes bem definidos do terreno, não sendo possível distinguir os dois tipos de uso.
Solo Exposto			Cores variando entre o amarelo ocre e o branco.
Adensamento Urbano			Cores variando entre o marrom claro e o cinza. Agrupamentos bem definidos no terreno.
Corpos D'Água			Localiza-se entre agrupamentos urbanos e vegetação de mangue e formato curvilíneo.

Com as imagens classificadas e validadas iniciou-se a **etapa 3** referente ao cálculo das métricas da paisagem. Para dar início a esta etapa foi necessário converter os arquivos das imagens classificadas para os anos de 1990 e 2015, ao formato *ASCII* (Código Padrão Americano para o Intercâmbio de Informação). Em seguida, no *software* Fragstats foram estabelecidos parâmetros na aba *Input layers*, sendo eles: *i*) número de linhas e número de colunas; *ii*) *cell size* em 30 metros; *iii*) Valor de *Background* de 999.

Assim, as métricas aplicadas nesse estudo foram selecionadas tomando como critérios a resolução das imagens Landsat, a extensão territorial e a escala de abordagem. Essas métricas pertencem à duas categorias, são elas:

a) Métricas de área e borda: fornecem informações das dimensões dos fragmentos por tipo de classe e a quantidade de bordas geradas por eles. As métricas aplicadas nessa categoria foram: Área da classe (CA): (Equação 6), Porcentagem de fragmentos da mesma classe na paisagem (PLAND) (Equação 7), área média dos fragmentos (AREA_MN) (Equação 8).

$$CA = \sum_{j=1}^n a_{ij} \times \left(\frac{1}{10.000} \right), \quad (6)$$

onde:

a_{ij} : Área (metros quadrados) do fragmento ij .

$$PLAND = P_i = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{A} (100), \quad (7)$$

onde:

P_i : Proporção da paisagem ocupada pela classe i ;

a_{ij} : Área (m^2) do fragmento ij ; e

A : Área total da paisagem (m^2).

$$AREA_MN = \frac{\sum_{j=1}^n x_{ij}}{n_i}, \quad (8)$$

onde:

x_{ij} : Área média dos fragmentos; e

n_i : Número de fragmentos da classe.

b) Métricas de proximidade e isolamento: informam o grau de isolamento entre os fragmentos de mesma classe. E fragmentos de vegetação, por exemplo, um maior grau de isolamento pode influenciar negativamente na riqueza de espécies (METZGER, 2006). Os índices dessa categoria quantificam a distância entre os fragmentos com base no fragmento vizinho mais próximo, considerando a mesma

classe. Assim, para este estudo foram selecionados o índice de proximidade média (PROX_MN) (Equação 9), distância média do vizinho mais próximo (ENN_MN) (Equação 10), número de fragmentos (NP) (Equação 11) e densidade de fragmentos (PD) (Equação 12).

$$\text{PROX_MN} = \frac{\sum_{j=1}^n \sum_{s=1}^n \frac{a_{ijs}}{a_{ijs}^2}}{n_i} \quad (9)$$

onde:

a_{ijs} : Área (m²) do fragmento ijs dentro da vizinhança especificada do fragmento ij ; e

h_{ijs} : Distância (m) entre fragmentos com base no cálculo do centro da célula para o centro da célula.

$$\text{ENN_MN} = \frac{\sum_{j=1}^n h_{ij}}{n_i}, \quad (10)$$

onde:

h_{ij} : Distância (m) entre fragmentos com base no cálculo do centro da célula para o centro da célula; e

n_i : número de fragmentos da classe na paisagem que tenha vizinho próximo.

$$\text{NP} = n_i, \quad (11)$$

onde:

n_i : Número de fragmentos na paisagem da classe i .

$$\text{PD} = \frac{n_i}{A} (10.000)(100), \quad (12)$$

onde:

n_i : Número de fragmentos na paisagem da classe i , e

A : Área total da paisagem (m²).

Os arquivos de saída (output) gerados pelo *software* foram do tipo *ASCII files*, que posteriormente foram importados para planilhas do *Excel*, onde foram agrupados e tabulados para melhor realização das observações e análises.

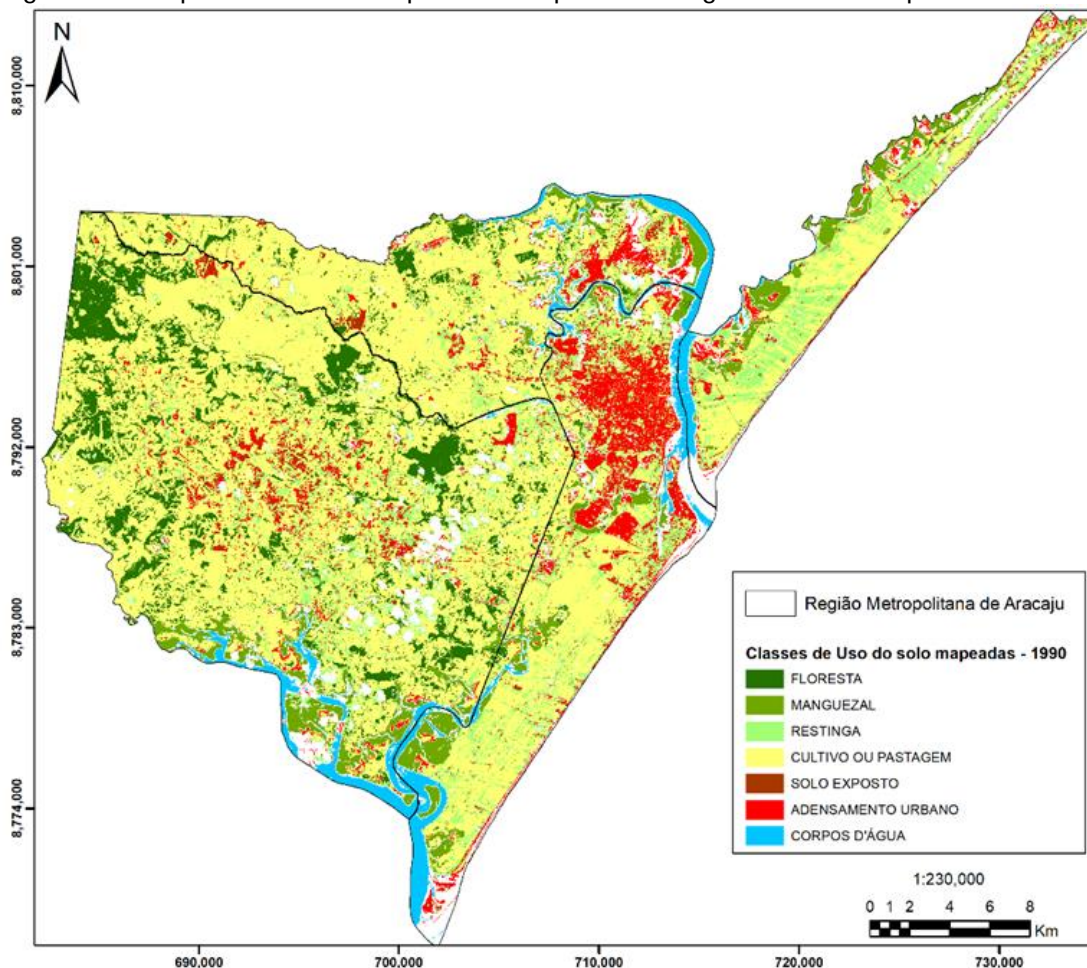
Por último, a **etapa 4** é referente à análises das variações temporais quantitativas e espaciais dos fragmentos, comparando com os resultados obtidos nos mapas de uso do solo e que proporcionam a formulação das análises e conclusões desta pesquisa.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 MAPAS DE USO DO SOLO

Os resultados dos mapas classificados conforme o uso do solo, são apresentados para o ano de 1990 (Figura 10) e outro para 2015 (Figuras 11). Comparando visualmente os dois mapas é possível identificar algumas mudanças na variação temporal das classes, considerando o intervalo de 25 anos. Como exemplo, nota-se a expansão da classe de Adensamento urbano representada na cor vermelha o que corrobora com a expansão da população apresentada na figura 4, que demonstra um crescimento populacional de 74,60% (de 530.200 habitantes em 1990 para 925.744 em 2015).

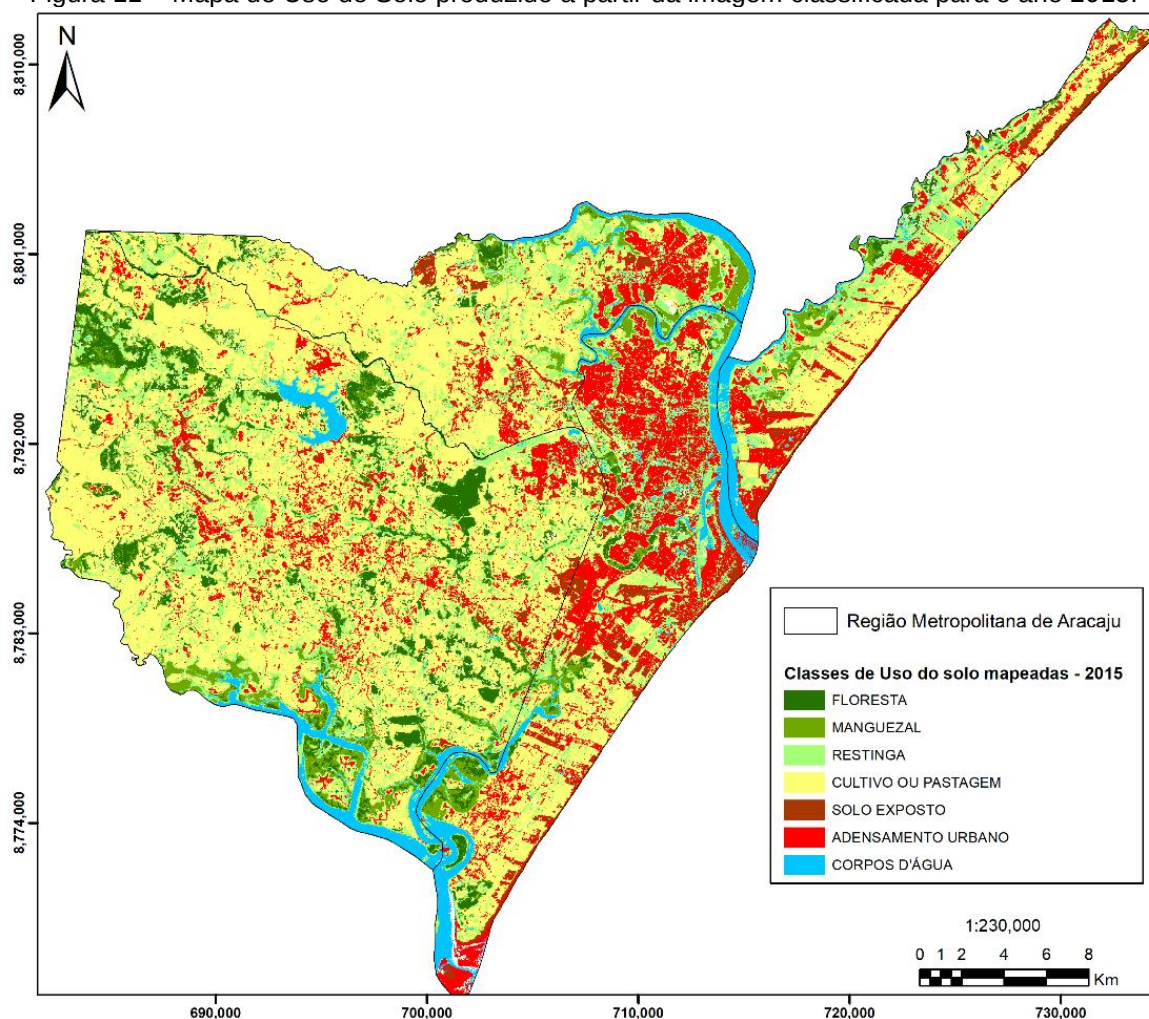
Figura 10 – Mapa de Uso do Solo produzido a partir da imagem classificada para o ano 1990.



Outra classe que apresentou mudanças visíveis foi a classe Floresta, cujas manchas diminuíram de tamanho, aparentando um aspecto menos denso no ano de 2015. Fernandes *et al.* (2017) demonstrou que os fragmentos de floresta encontrados na bacia hidrográfica do rio Piauitinga, também na região costeira de Sergipe, tiveram uma redução em seu tamanho, demonstrando fragilidade e que estão altamente impactados pelas ações antrópicas e agropastoris.

Na classe Restinga, foi possível observar um “aumento” para além das áreas de sua ocorrência (Figura 11). Essas áreas estão localizadas ao redor de manchas da classe Floresta e podem haver sido classificadas erroneamente devido à confusão entre classes, como é possível observar nas matrizes de confusão das imagens classificadas (Quadros 6 e 7). Essas manchas podem ser, na verdade, áreas de floresta degradada ou em estágio de regeneração, que sofreram forte influência das classes Adensamento urbano e Cultivo e/ou Pastagem, assim como coloca Farias (2013).

Figura 11 – Mapa de Uso do Solo produzido a partir da imagem classificada para o ano 2015.



Com a análise espacial dos mapas de uso do solo foi possível quantificar, em ambiente SIG, a área total de cada uma das classes, bem como analisar de forma mais detalhada as respectivas mudanças espaciais. O resultado desta análise está representado no Quadro 5 onde são apresentados os valores em hectares (ha) de cada uma das classes para os anos analisados, bem como as porcentagens (%) que cada uma das classes ocupa na paisagem total.

Quadro 5 – Extensão territorial das classes de uso do solo nos anos 1990 e 2015 em hectares e a porcentagem que ocupa na paisagem total

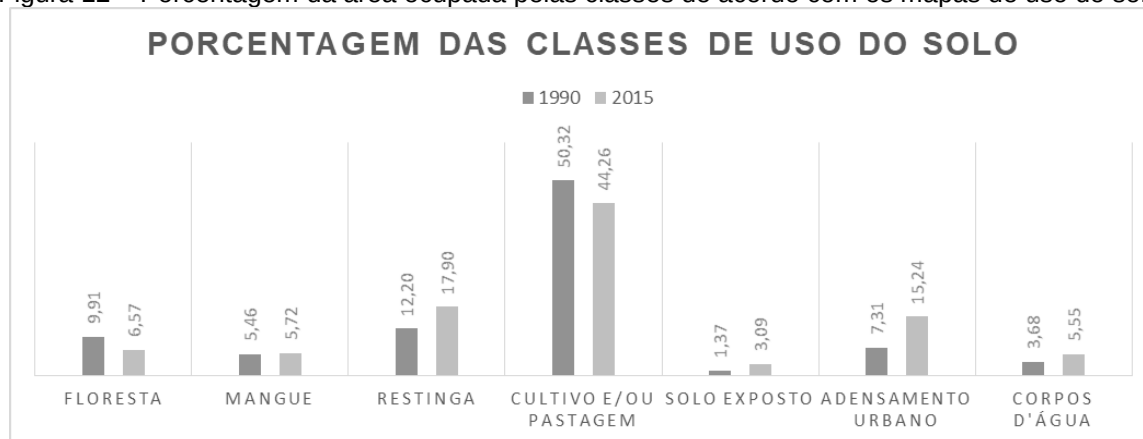
	1990 (ha)	1990 (%)	2015(ha)	2015 (%)
Floresta	8.568,27	9,91	5.676,57	6,57
Mangue	4.720,59	5,46	4.946,67	5,72
Restinga	10.547,82	12,20	15.477,03	17,90
Cultivo e/ou Pastagem	43.498,62	50,32	38.259,09	44,26
Solo Exposto	1.183,59	1,37	2.669,49	3,09
Adensamento Urbano	6.315,39	7,31	13.177,17	15,24
Corpos D'Água	3.180,96	3,68	4.797,90	5,55
TOTAL:	78.015,24	90,24	85.003,92	98,33

Como já supracitado na caracterização da área de estudo, o valor total ocupado pela área (100%) é de 86.451 hectares. A partir dos valores obtidos no quadro 5, nota-se que em 1990 as classes de uso do solo mapeadas ocuparam 90,24% do total e em 2015, esse valor aumentou para 98,33% da área total. Assim, dentre as sete classes analisadas, a que compreende a maior extensão da área de estudo corresponde a Cultivos e/ou Pastagens, ou seja, é a classe que representa o elemento matriz da área de estudo em ambos os anos analisados. Também é possível constatar que a classe com menor área nos dois anos de estudo foi Solo Exposto, apesar de, no intervalo analisado, esta classe ter aumentado sua área em mais que o dobro do que ocupava em 1991.

Apesar de compor a classe com maior área ocupada nos anos do estudo (Figura 12), na classe Cultivo e/ou Pastagem foi possível constatar mudanças, já que em 1990 a área desta classe abrangia 50,32% da paisagem total e em 2015 ocorreu a diminuição para 44,26%. Essa diferença pode estar relacionada ao já mencionado aumento da classe Adensamento urbano, como também pelo aumento da classe Corpos D'Água. Este último poderia ser considerado incomum, no entanto, deve-se ao fato de que, em 2013, foi construída, no município de São Cristóvão, a barragem do Poxim-Açu, de propriedade da Companhia de Saneamento do Estado de Sergipe

em parceria com o Governo do Estado. Segundo a SEMARH (2014), a barragem possui um volume de 32,7 hm³ e inundou uma área de aproximadamente 5,2 km², fazendo com que esta classe tivesse os valores de sua área alterados.

Figura 12 – Porcentagem da área ocupada pelas classes de acordo com os mapas de uso do solo.



Outras classes tiveram mudanças, no entanto, não foram tão significativas quanto as já mencionadas, como por exemplo, a classe Mangue que teve um aumento de 0,26%.

4.2 VALIDAÇÃO DOS MAPAS DE USO DO SOLO

Para validar os mapas de uso do solo, foram analisadas as matrizes de confusão geradas após a classificação das imagens que são apresentadas nos Quadros 6 e 7. Para a imagem classificada para o ano 1990 (Figura 10), os valores de *pixels* classificados estão expostos na matriz de confusão (Quadro 6).

Ao analisar a matriz de confusão da imagem classificada para o ano de 1990 (Quadro 6), e tendo sabido que os valores da diagonal principal são os *pixels* classificados corretamente, pode-se notar que a classe Restinga e Cultivo e/ou Pastagem foram as que tiveram seus *pixels* confundidos entre si. Já a classe Corpos D'Água foi a que teve menos *pixels* classificados erroneamente.

Quadro 6 – Matriz de confusão gerada a partir da imagem classificada para o ano de 1990

Imagem Referência - 1990

	Floresta	Mangue	Restinga	Cultivo e Pastagem	Solo Exposto	Adensamento Urbano	Corpos D'água	Total
Imagem Classificada	Floresta	6431	71	13	209	0	0	6725
	Mangue	38	4528	29	18	0	4	4654
	Restinga	174	25	1897	2259	253	981	5628
	Cultivo e Pastagem	319	0	1040	15606	782	781	18564
	Solo Exposto	0	0	3	4	283	4	294
	Adensamento Urbano	1	0	397	172	178	4275	5053
	Corpos D'água	0	0	0	0	0	8556	8679
	Total	6963	4624	3379	18268	1496	6045	49597

Aplicando a fórmula da Exatidão Global (Equação 2), obteve-se o valor 83% (0,83), está dentro do patamar estabelecido por Jensen (1986), de 85%. Já o índice Kappa (Equação 5), apresentou um valor de 0.79, considerado como “Muito bom” (Quadro 4) e menor que a Exatidão Global, justifica-se pelo fato de o índice Kappa considerar todas as células da matriz e não apenas a diagonal principal.

Quadro 7 – Matriz de confusão gerada a partir da imagem classificada para o ano de 2015

Imagem Referência - 2015								
	Floresta	Mangue	Restinga	Cultivo e Pastagem	Solo Exposto	Adensamento Urbano	Corpos D'água	Total
Imagem Classificada	Floresta	7516	1024	59	53	0	0	8660
	Mangue	1078	2803	33	0	0	0	3914
	Restinga	99	125	6470	1098	149	292	9573
	Cultivo e Pastagem	0	0	316	14173	14	1174	15692
	Solo Exposto	0	0	28	12	1985	144	2175
	Adensamento Urbano	0	0	1606	686	882	11919	15212
	Corpos D'água	0	1	834	0	0	248	15471
	Total	8693	3953	9346	16022	3030	13777	70697

A Matriz de confusão gerada para a imagem do ano 2015 está representada no quadro 7. Ela revela que as classes em que houve maior confusão entre os pixels foram Floresta e Mangue. Já a classe que teve menor confusão com outras classes também foi Corpos D'Água.

O valor da Exatidão Global foi de 83%, também atendendo aos parâmetros estabelecidos por Jensen (1986). Já o valor calculado para o índice Kappa foi 0.80, considerado como “Muito bom” (Quadro 4) por Landis e Koch (1977).

4.3 ANÁLISE DAS MÉTRICAS

A paisagem da Região Metropolitana de Aracaju sofreu, ao longo dos 25 anos, algumas alterações que foram possíveis constatar, conforme a metodologia proposta. No entanto, é importante salientar que as métricas sob investigação têm várias faixas de valores e unidades diferentes, assim haviam duas opções: analisar uma classe particular e um conjunto de métricas correspondentes, ou analisar uma única métrica de cada vez para todas as classes. A primeira opção foi escolhida para facilitar a discussão acerca das mudanças enfatizando cada classe, cujas comparações são mostradas a seguir.

4.3.1 Floresta

A classe Floresta encontrada na área de estudo é de domínio da Mata Atlântica e, desde o primeiro ano de análise se encontra de forma descontínua, principalmente devido à degradação antrópica e atividades agropastoris (PRATA *et al.*, 2013; JESUS, 2015; FERNANDES, 2015; FERNANDES, 2017).

A área total da classe (CA) e a porcentagem da classe na paisagem (PLAND) indicaram uma progressiva diminuição na classe floresta no intervalo analisado. Essa diminuição de 8.568,27 ha (10,98%), em 1990 (Figura 13a) para 5.676,57 ha (6,68%), em 2015 (Figura 13b) pode ser explicada pelo aumento das áreas de pastagens, o aumento de áreas desmatadas para plantação de outros cultivos e o não cumprimento da legislação ambiental (FERNANDES, 2015).

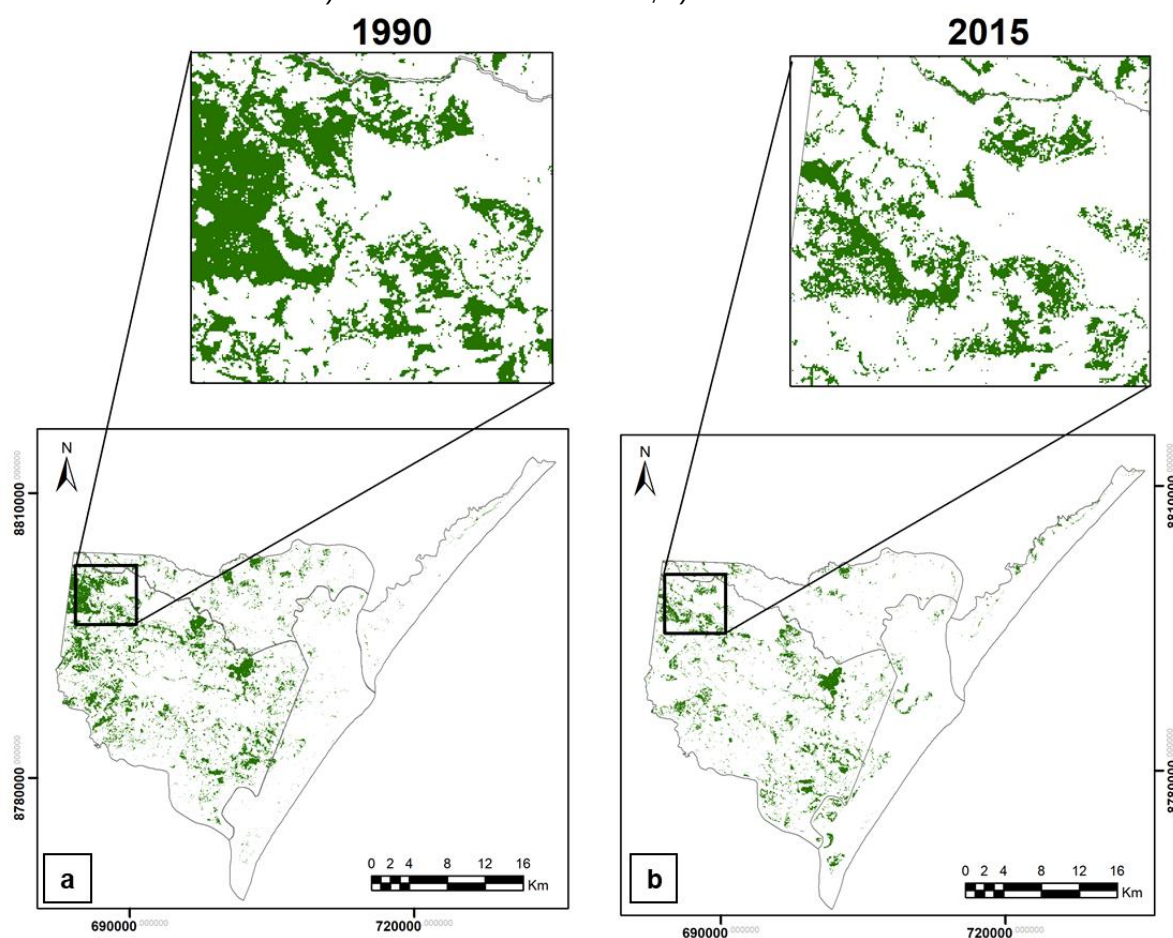
Acompanhando esta tendência, observou-se uma diminuição do número de fragmentos (NP), que em 1990 totalizava 5.609 fragmentos de Floresta e em 2015 diminuiu para 4.203 fragmentos, assim como a diminuição do tamanho médio dos fragmentos (AREA_MN) demonstrando que além de mais fragmentada, a classe perdeu também parte da área que ocupava.

Estudos apontam que a formação de pequenos fragmentos se relaciona com o uso econômico do solo, pois, locais onde a estrutura fundiária predominante é constituída de pequenas propriedades rurais, os pequenos fragmentos tornam-se comuns em virtude da retirada da vegetação para o cultivo de culturas. Essa retirada geralmente é feita em áreas de floresta nativa, formando vários fragmentos na paisagem (GOERL *et al.*, 2011).

Além disso, o tamanho médio dos fragmentos revela que desde o primeiro ano de estudo a classe apresenta alto grau de fragmentação, já que em 1990 o tamanho

médio dos fragmentos era 1,52 ha e em 2015 diminuiu para 1,35 ha. Essa redução deve-se ao modo como esse índice é calculado, ou seja, em função do número de fragmentos e da área total ocupada pela classe. Segundo MCGARIGAL *et al.* (2002), paisagens que apresentam menores valores para tamanho médio do fragmento devem ser consideradas como mais fragmentadas.

Figura 13 – Área de abrangência da classe Floresta na RMA, com destaque para fragmentação das manchas. a) Área de Floresta em 1990; b) Área de Floresta em 2015.



Ao adicionar à análise a métrica de densidade de manchas (PD), é possível traçar um delineamento da fragmentação desta classe, pois ela fornece o número de manchas por uma unidade de área. Nesta classe obteve-se em 1990, 7,19 fragmentos a cada 100 hectares, havendo diminuição para 4,94 fragmentos/100 ha em 2015. O principal problema deste padrão é que quanto mais área florestada estiver contida em pequenos fragmentos, mais intensamente estaria sujeita ao efeito de borda (RODRIGUES, 1993).

Para avaliar o isolamento entre os fragmentos foi utilizado o índice ENN_MN, que calcula a distância média do fragmento mais próximo, para o qual foram obtidos os valores 107,34 para o ano de 1990 e 108,72, em 2015. Usando este índice foi possível verificar que esta classe apresenta alto grau de isolamento, uma vez que, segundo Almeida (2008), distâncias médias entre fragmentos menores que 60 metros são classificados como de baixo isolamento. Já os resultados de Calegari *et al.* (2010), em regiões do RS, demonstraram que foram encontradas distâncias médias entre fragmentos de 244,50 m e 82,22 m, respectivamente, o que demonstra serem áreas com o grau de isolamento variando de muito alto a médio.

De acordo com os dados apresentados acima é possível inferir que na área de estudo não existem grandes áreas de remanescentes de vegetação natural a serem conservadas, e sim um considerável número de pequenos fragmentos de vegetação inseridos em uma matriz de uso antrópico, principalmente áreas agropastoris.

4.3.2 Mangue

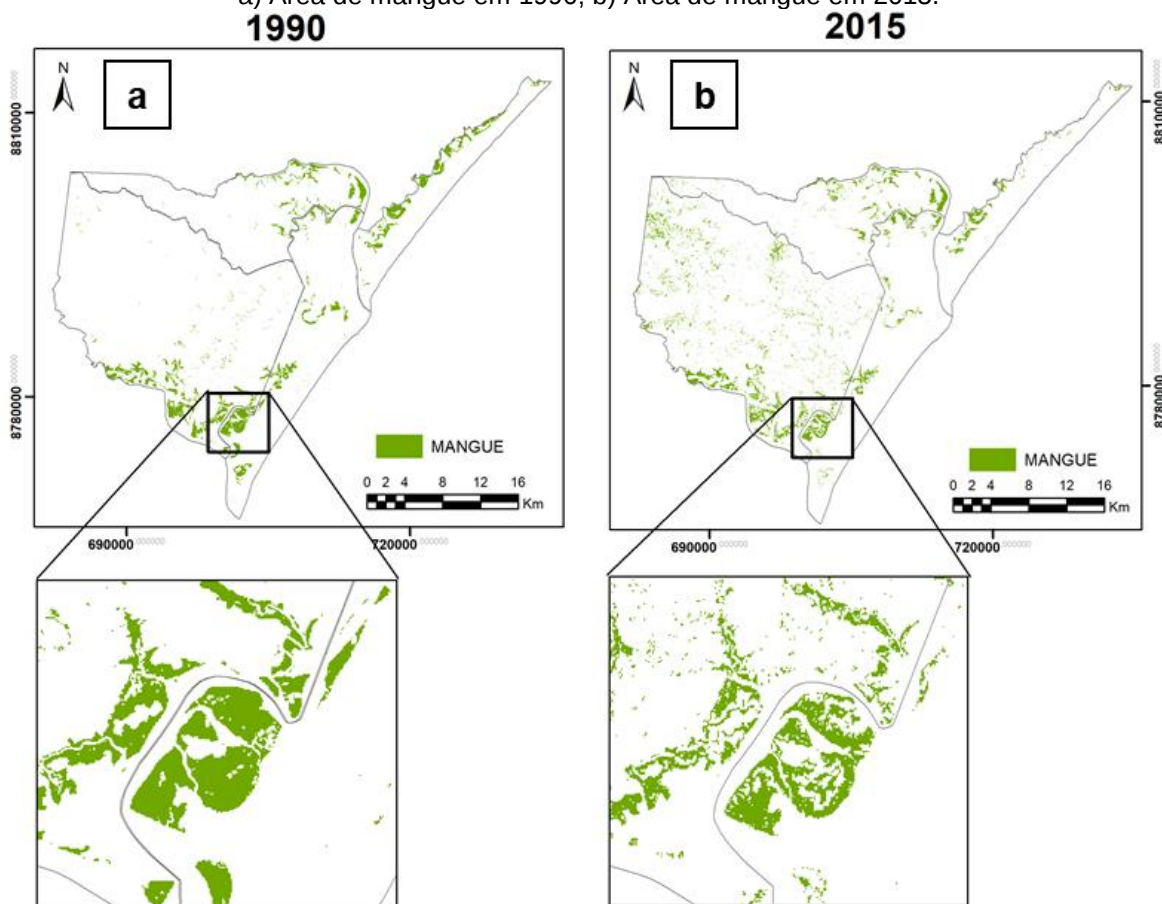
A vegetação que compõe a classe Mangue também faz parte do domínio da Mata Atlântica ocupam as margens dos rios, as ilhas estuarinas e as planícies fluvio-marinhas e, juntamente com os apicuns, encontram-se presentes em todos os estuários de Sergipe (PRATA *et al.*, 2013). As mudanças verificadas com base nos resultados das métricas possibilitaram comparar que a área total da classe em 1990 foi de 4.720,59 ha representando 6,05% da área total da paisagem para aquele ano (78.015,24 hectares), já em 2015 a área ocupada pela classe foi 4.946,67 hectares, o que representou 5,82% da área total ocupada por todas as classes em 2015 (85.003,92 ha).

Em relação às outras classes desta pesquisa, a classe Mangue foi a que apresentou resultados mais discrepantes. Apesar de a área ocupada por esta classe apresentar um pequeno aumento (226,08 ha), os valores das outras métricas aumentaram consideravelmente. O número de fragmentos aumentou de 1.418 fragmentos, em 1990 para 5.341 em 2015. O tamanho médio dos fragmentos dessa classe (AREA_MN) diminuiu de 3,32 ha, em 1990 para 0,92 ha, em 2015. E a densidade de fragmentos (PD) aumentou de 1,68 fragmentos/100 ha, em 1990 para 6,26 fragmentos/100 ha, em 2015.

Analisando essas métricas conjuntamente, ao constatar o aumento de 3.923 fragmentos e uma vez que se observou tendência de redução do tamanho médio das áreas (AREA_MN) da classe em 72,28 %, além do aumento de fragmentos a cada 100 hectares. Considerando que Mcgarigal e Marks (1995) afirmam que paisagens com menores valores de tamanho médio de fragmento devem ser consideradas mais fragmentadas e Fernandes (2015), que constatou uma maior degradação em fragmentos que sofreram redução em seu tamanho, revela que esta classe sofreu fragmentação intensa.

Este aspecto pode ser constatado observando a Figura 14, onde no destaque, é possível perceber o aspecto fragmentado das manchas desta classe.

Figura 14 – Área de abrangência da classe Mangue, com destaque para fragmentação das manchas.
a) Área de mangue em 1990; b) Área de mangue em 2015.



Os valores obtidos para as métricas que medem o grau de isolamento entre os fragmentos da classe Mangue também foram significativos. Para Metzger (1999), o isolamento dos fragmentos promove uma influência negativa na riqueza de espécies. Uma vez que os valores de índice de proximidade médio (PROX_MN) para 1990 e

2015 foram, respectivamente, 24,33 e 11,12, este índice é fortemente influenciado pela redução em área das classes (CA) e pela proximidade entre remanescentes de mesma classe na paisagem (FERANDES, 2015).

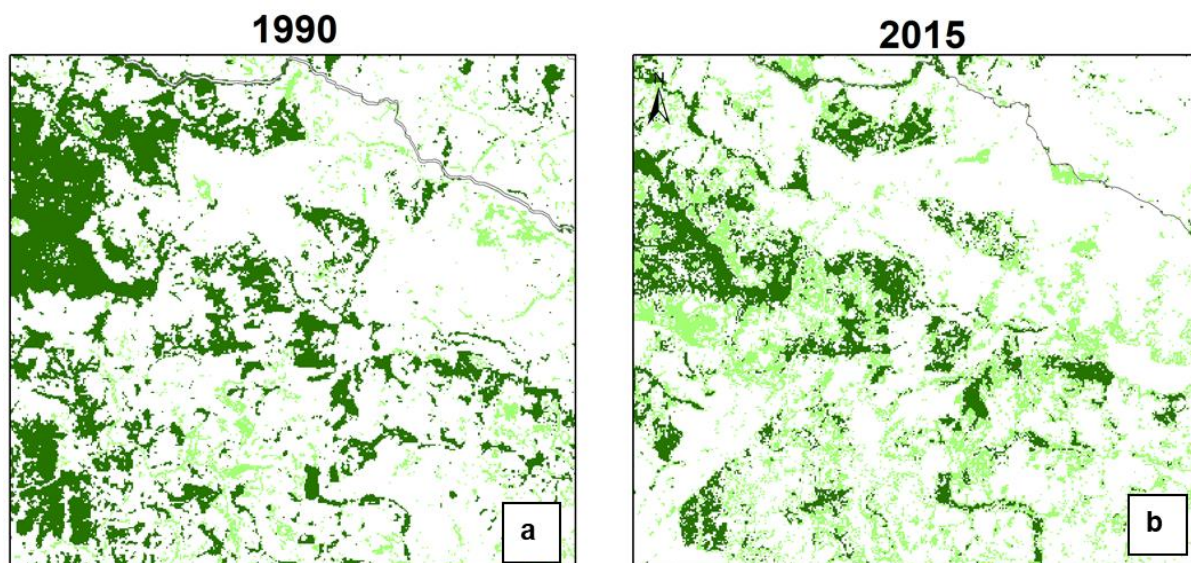
A distância média do fragmento mais próximo (ENN_MN) para a classe apresentou tendência de redução durante o período estudado, que passou de 159,63 em 1990 para 101,89 em 2015, consequência do aumento do número de pequenos fragmentos, o que faz com que os fragmentos pequenos fiquem mais próximos. Borges et al. (2010) mencionou que esta métrica quantifica a configuração da paisagem e está baseada na distância borda-a-borda.

4.3.3 Restinga

A classe Restinga é representada pela formação fitogeográfica da restinga que está assentada sobre solos arenosos, ocorrendo em todo o litoral, podendo atingir até 10 km de largura em alguns municípios do litoral sergipano e abranger formações dunares fixas ou móveis (PRATA *et al.*, 2013).

Os resultados obtidos para a área da classe (CA) e da porcentagem da classe na paisagem (PLAND) demonstram que houve um aumento, pois em 1990 a área ocupada era de 10.547,82 hectares (13,52%) e em 2015 passou para 15.477,03 ha (18,21%). No entanto, a partir de observações, infere-se que, por limitações da resolução das imagens, algumas manchas tenham sido confundidas com áreas de floresta degradada ou em processo de regeneração, uma vez que estão em áreas antes ocupadas pela classe floresta e não foram encontradas literaturas que identifiquem a ocorrência da restinga nessas áreas, como é possível observar na Figura 15a e 15b.

Figura 15 – Manchas das classes Floresta e Restinga nos anos de 1990 (a) e 2015 (b).



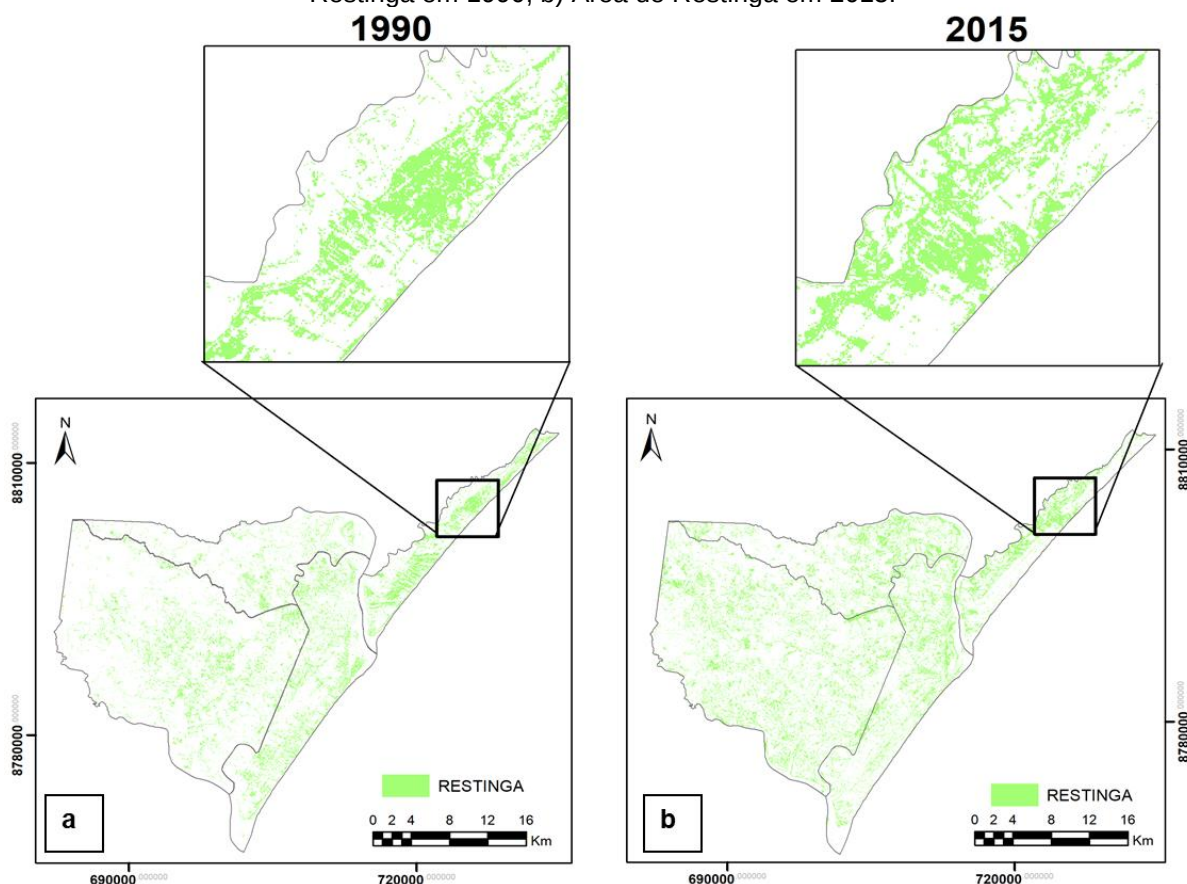
Para a análise do número de fragmentos (NP) da classe Restinga, em 1990 foram detectados 12.746 fragmentos e em 2015 foram contabilizados 19.466 fragmentos. Assim como o número de fragmentos, a densidade de fragmentos por unidade de área também aumentou, pois foram identificados em 1990, 16,34 fragmentos/ 100 hectares e em 2015 esse valor aumentou para 22,90 fragmentos a cada 100 hectares. A figura 16a e 16b demonstra o destaque para regiões onde foi possível observar o aumento do número de fragmentos.

O tamanho médio dos fragmentos (AREA_MN) é um importante indicador da fragmentação da classe estudada, e diversos trabalhos apontam que fragmentos pequenos (menores que 5 ha) indicam alto grau de fragmentação (SILVA *et al.*, 2014; SOUZA *et al.*, 2014; SAITO *et al.*, 2016). Assim, esse índice teve pouca variação de valores, pois em 1990 o tamanho médio era de 0,82 ha e teve uma pequena redução para 0,79 ha em 2015.

O índice de proximidade média (PROX_MN) sofreu um aumento de 29,89 em 1990 para 48,47 em 2015. Ou seja, os fragmentos desta classe tornaram-se mais distantes entre si, o que, segundo Ribeiro *et al.* (2009) apontam como um fator limitante para o deslocamento entre espécies. O outro fator que mede o grau de isolamento entre fragmentos é a distância média do fragmento mais próximo (ENN_MN), que diminuiu de 85,70 para 74,08. Esse índice tem grande importância na manutenção da biodiversidade, pois quanto menor a distância entre dois fragmentos,

maior a taxa de recolonização pela imigração de indivíduos de outras populações e também maior mobilidade de dispersores e polinizadores (BARROS, 2006).

Figura 16 – Área ocupada pela classe Restinga, com destaque para os fragmentos. a) Área de Restinga em 1990; b) Área de Restinga em 2015.



4.3.4 Cultivo e/ou Pastagem

A classe Cultivo e/ou Pastagem pode ser definida por áreas de uso destinado à agricultura e pecuária. No entanto, é importante salientar que não foi possível diferenciar as áreas dessas duas atividades devido à resolução das imagens utilizadas que não permitirem tal definição com clareza. Assim, foi feito um esforço com apoio na literatura, para definir as principais características que compõem essa classe.

Como parte dos cultivos, um destaque especial é atribuído aos coqueirais, que se expandem, principalmente, sobre os solos da planície litorânea e tabuleiros onde se inserem os municípios da Região Metropolitana de Aracaju (ARAÚJO, 2012). O coco-da-Baía (*Cocus nucífera*) teve sua importância comercial, industrial e artesanal reconhecida por Troppmair (1971), como um dos produtos mais importantes do

Estado, exportando grande parte da produção para o mercado nacional. Outros cultivos que tem importância econômica na área de estudo são: a mandioca e a laranja. Os demais cultivos são destinados à agricultura de subsistência (IBGE, 2010).

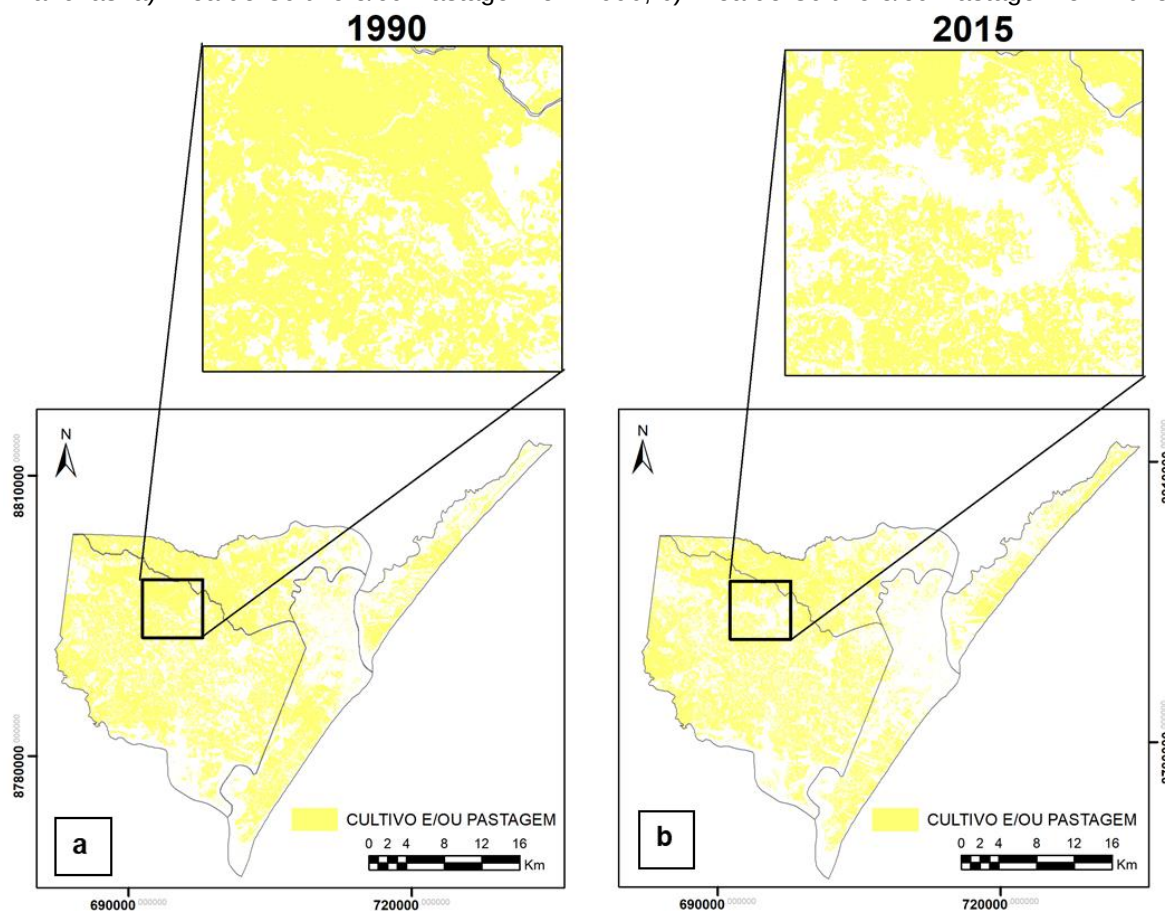
As pastagens que compõem a área de estudo são destinadas à pecuária, majoritariamente, a extensiva, onde o gado é criado solto, utilizando as áreas das vertentes dos tabuleiros costeiros (ALVES, 2010). A pastagem representa um dos principais tipos de recobrimento, em relação às áreas de cultivos. No entanto, dentre os municípios desta pesquisa, Barra dos Coqueiros destinou maior parte desta classe aos cultivos e Nossa Senhora do Socorro, sobressai as áreas de Pastagem.

A destinação das terras para a pecuária modifica o meio, desde o momento de implantação da infraestrutura agrícola, com a retirada da vegetação nativa até a compactação do solo e aumento da erosão devido ao superpastoreio (JESUS, 2015). Desta maneira, Fontes (1997), que realizou a caracterização ambiental de uma bacia hidrográfica do litoral sergipano, concluiu que as formas de utilização das terras, associadas às práticas agrícolas, tradicionais e modernas, desempenham importante papel na conservação dos solos, numa sequência decrescente de intensidade-mata-pastagem-culturas de ciclos longos e curtos.

Assim como nos mapas de uso do solo, após o cálculo das métricas a classe Cultivo e/ou Pastagem apresentou a maior área da classe (CA) e porcentagem da classe na paisagem (PLAND), representando assim a matriz da paisagem da área de estudo. A classe ocupou em 1990, uma área de 43.498,62 ha (55,76%) e em 2015, teve uma redução para 38.259,09 ha (45,01%). Na Figura 17a e 17b é possível observar algumas mudanças ocorridas nesta classe.

A redução desta área pode estar relacionada ao aumento de outras classes, como por exemplo, a classe Adensamento Urbano, assim como afirma Wanderley (1998), sobre o aumento dos problemas fitossanitários e do crescimento da especulação imobiliária, que muito contribuiu para a redução dos coqueirais, o que causam prejuízos para a paisagem.

Figura 17 – Área da classe Cultivo e/ou Pastagem na RMA, com destaque para fragmentação das manchas. a) Área de Cultivo e/ou Pastagem em 1990; b) Área de Cultivo e/ou Pastagem em 2015.



Um dos índices que podem atestar o aumento do grau de fragmentação desta classe é o número de fragmentos (NP), pois, apesar da diminuição da área, foi possível atestar que, em 1990, a classe totalizava 4.189 fragmentos e em 2015 aumentou para 5.793 fragmentos. Como afirmaram Cabacinha et al. (2010), o aumento do número de fragmentos implica em fragmentos menores de uma determinada classe, o que define seu grau de fragmentação.

Somado ao número de fragmentos, outro índice que legitima o aumento da fragmentação é o tamanho médio dos fragmentos (AREA_MN), que teve uma redução de 10,38 ha em 1990 para fragmentos com 6,60 ha em 2015. Apesar de menores, a densidade de fragmentos por unidade de área aumentou, pois em 1990 era possível encontrar 5,37 fragmentos/100 ha, já em 2015 os fragmentos estavam mais próximos, com 6,82 fragmentos/100 ha.

Continuando a análise das métricas de isolamento da paisagem, tanto o índice médio de proximidade entre fragmentos de uma classe (PROX_MN), como a distância

média até o fragmento vizinho mais próximo (ENN_MN), diminuíram. Os valores de PROX_MN para 1990 e 2015 foram, respectivamente, 27.973,27 e 16.976,57 revelando que os fragmentos desta classe estão mais unidos entre si. Para reafirmar essa colocação os valores de ENN_MN para 1990 e 2015 foram, respectivamente, 79,63 e 77,52, demonstrando que na área de estudo, ainda que a classe tenha diminuído, cedendo área para outras, o grau de fragmentação aumentou.

4.3.5 Solo Exposto

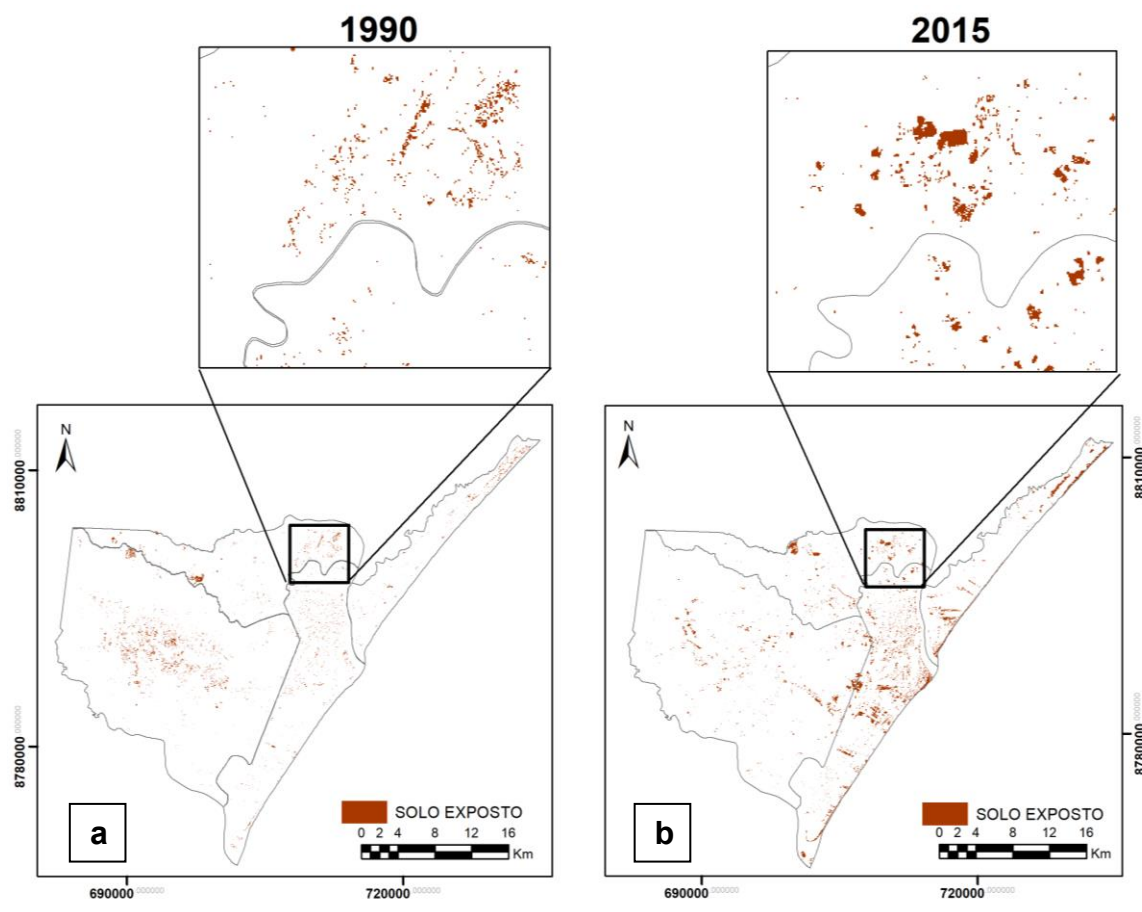
Segundo Araújo (2012), esta classe refere-se a pequenas áreas de afloramentos rochosos sem a interferência antrópica, disseminados descontinuamente, cuja superfície está diretamente exposta aos agentes intempéricos, face a ausência de um manto vegetal regularizador desse processo.

Segundo os resultados das métricas, em 1990 a área total ocupada por esta classe (CA) era 1.183,59 hectares, o que representava uma porcentagem na paisagem (PLAND) de 1,52%. Em 2015, a área da classe aumentou mais que o dobro, apresentando uma área de 2.669,49 hectares e 3,14% da área total da paisagem (Figura 18a e 18b).

O número de fragmentos (NP), diminuiu de 3.727 fragmento em 1990 para 3.612 fragmentos em 2015. O aumento da área da classe somado à diminuição do número de fragmentos sugere que houve uma união entre fragmentos desta classe e, consequentemente tornando-os maiores. Como é possível constatar pelo tamanho médio dos fragmentos (AREA_MN), os quais em 1990 possuíam tamanhos médios de 0,31 ha e no último ano analisado, 2015 apresentou fragmentos de 0,73 hectares.

A densidade de fragmentos (PD) da classe Mangue apresentou pouca variação, contabilizando, em 1990, 4,78 fragmentos/100 ha e em 2015 teve uma redução desprezível, visto que em 2015 esse valor passou a ser 4,25 fragmentos a cada 100 hectares. O índice de proximidade médio (PROX_MN) aumentou, uma vez que em 1990 a distância média entre os fragmentos era de 1,75 e em 2015 a distância passou a ser 6,02. Já a distância média até o fragmento mais próximo (ENN_MN) sofreu uma redução de 130,78 em 1990 para 123,25 em 2015, o que indica que apesar de maiores, as manchas dessa classe estão mais dispersas na paisagem em questão neste estudo.

Figura 18 – Aumento do número de manchas da classe Solo Exposto. a) Área de Solo Exposto em 1990; b) Área de Solo Exposto em 2015.



4.3.6 Adensamento Urbano

Esta classe é caracterizada pelas áreas de ocupação antrópica tradicional, uma vez que os municípios que compõem a Região Metropolitana de Aracaju são considerados o núcleo mais urbanizado do Estado. Sua formação se remete ao *boom* de crescimento populacional da capital, que veio com a chegada de indústrias a partir dos anos 60. A industrialização passou a atrair grande número de migrantes de municípios do interior e também de outros estados (FONTES DE SOUZA, 2009).

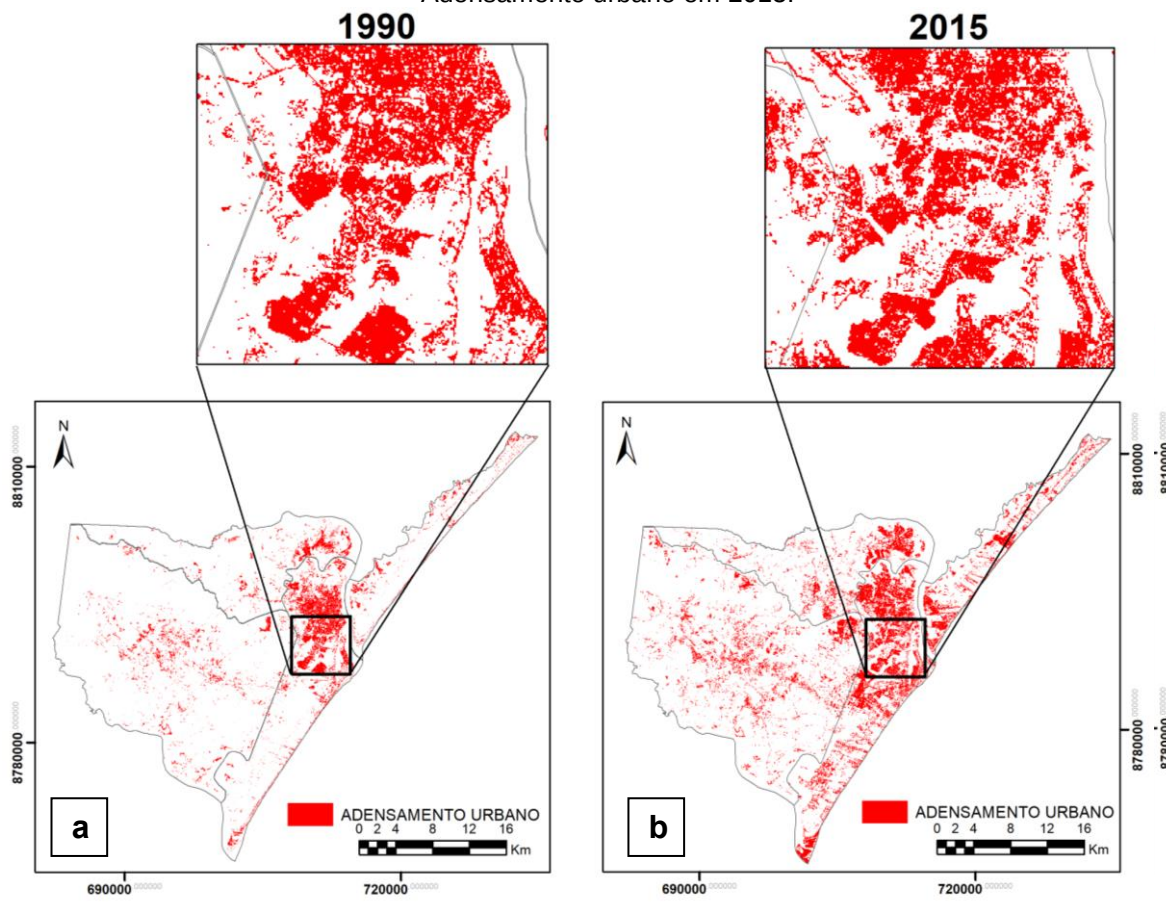
Com a expansão demográfica, a intensa urbanização de Aracaju e a especulação imobiliária, terrenos que já eram considerados caros sofreram uma elevação de preços. Como consequência, a cidade foi se expandindo e a população que não tinha poder aquisitivo para adquirir terrenos em áreas mais nobres foi buscando áreas com valores mais acessíveis nas periferias e nos municípios vizinhos (FEITOSA, 2006).

O processo de metropolização de Aracaju seguiu o modelo de desenvolvimento proposto pela Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (Sudene), que fomentava a industrialização de regiões periféricas na Região Nordeste (Souza, 2009). Com a consolidação da industrialização os fluxos migratórios para Aracaju e regiões adjacentes foram transformando e dinamizando o espaço. Ao mesmo tempo, a cidade foi sendo empurrada para os municípios vizinhos através da implantação de conjuntos habitacionais e loteamentos, aumentando a complexidade da dinâmica urbana (FRANÇA, 2005).

Assim como afirma a literatura, após o cálculo das métricas foi possível avaliar quantitativamente o crescimento da classe Adensamento Urbano. A área total da classe (CA), que em 1990 abrangia uma área de 6.315,39 hectares, o que representa uma porcentagem de classe (PLAND) de 8,10% e em 2015 totalizou 13.177,17 ha e porcentagem de classe de 15,50%, sendo a diferença mais que o dobro do primeiro ano analisado. Na Figura 19a e 19b é possível observar o “espalhamento” da classe para além dos limites de Aracaju, aumentando o processo de conturbação (unificação da mancha urbana em consequência do crescimento populacional), entre os municípios componentes da RMA.

O número de fragmentos (NP) aumentou de 5.127 fragmentos em 1990 para 7.520 fragmentos em 2015, sugerindo, conforme o aumento da área da classe, o surgimento de novos fragmentos. Além disso, o tamanho médio dos fragmentos (AREA_MN) dessa classe aumentou de 1,23 ha em 1990, para 1,75 ha em 2015, o que pode ser interpretado como a união de fragmentos a outros já existentes.

Figura 19 – Espalhamento da classe Adensamento urbano nos municípios da RMA, com destaque para fragmentação das manchas. a) Área de Adensamento urbano em 1990; b) Área de Adensamento urbano em 2015.



A densidade de fragmentos (PD) apresentou para o ano de 1990, 6,57 fragmentos a cada 100 hectares, já em 2015 ocorreu um aumento para 8,85 fragmentos/100 ha, corroborando com o aumento do número de fragmentos desta classe ter aumentado.

Quanto às métricas relacionadas ao isolamento, índice de proximidade médio (PROX_MN) cujos valores para 1990 e 2015 foram, respectivamente, 120,84 e 222,38, revelando um afastamento entre as manchas. A distância média até o vizinho mais próximo diminuiu de 106,05 em 1990 para 89,11 em 2015.

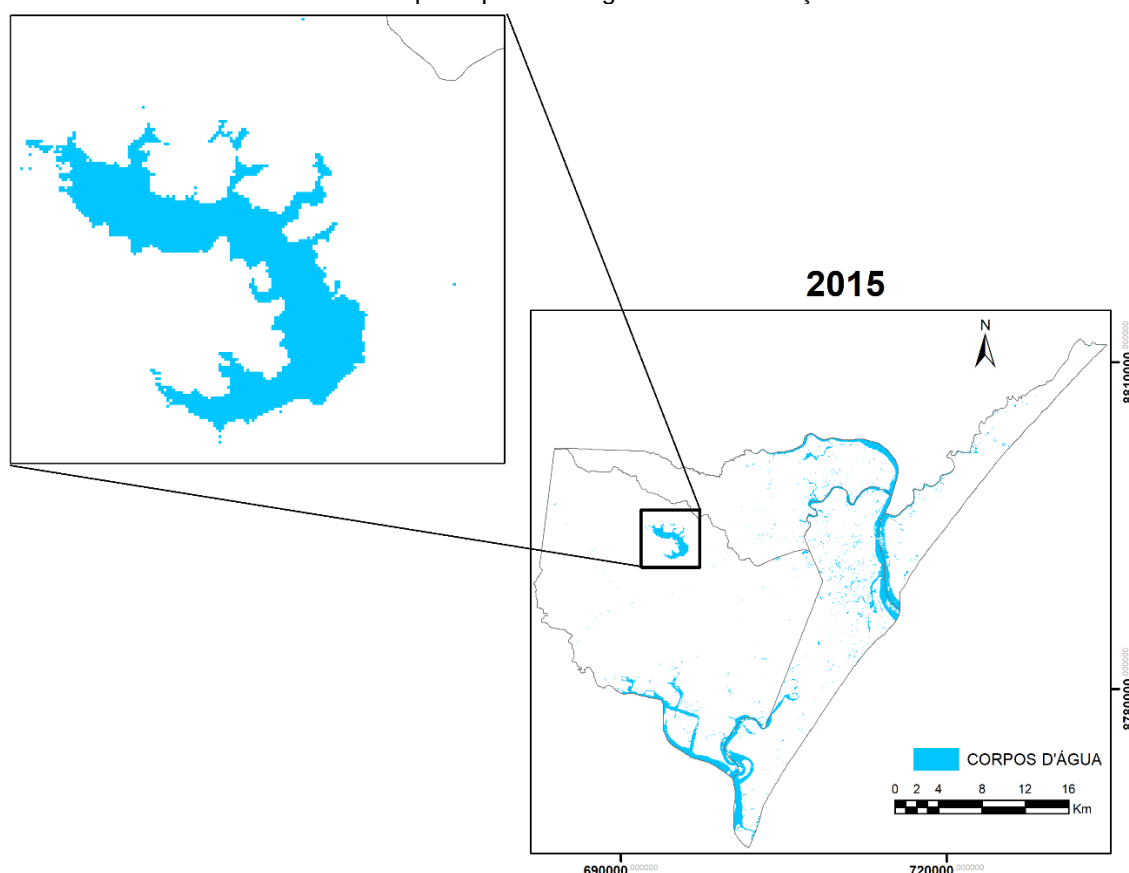
4.3.7 Corpos D'Água

A classe Corpos D'Água abrangeu os cursos de rios, lagos, represas e quaisquer outros recursos hídricos que puderam ser detectados pelo método de classificação automática utilizado nessa pesquisa. Essa classe foi escolhida por haver

apresentado um aumento significativo para a área de estudo no intervalo de anos analisados.

Como já mencionado na seção 4.1 referente aos resultados obtidos no mapa de uso do solo, os resultados dessa classe foram influenciados pela construção da represa do Poxim-Açú (Figura 20). Dessa maneira, foram alterados os valores de área total da classe e da porcentagem da classe na paisagem total.

Figura 20 – Aumento da área da classe Corpos D'Água analisado em 2015, com destaque para a área ocupada pela barragem do Poxim-Açú.

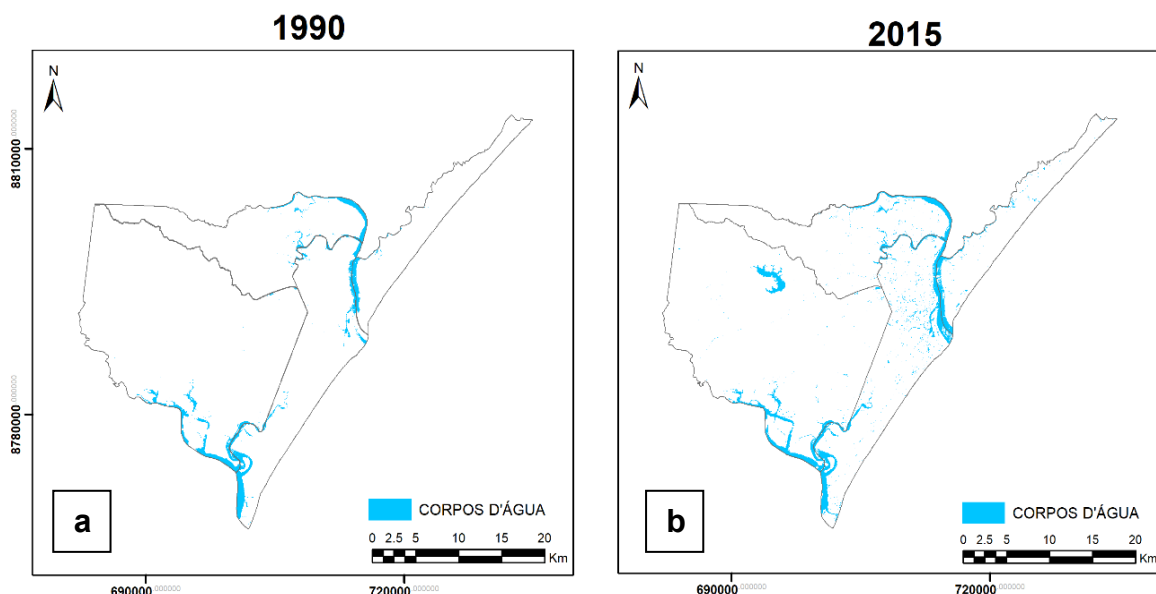


Sendo assim, os resultados obtidos para a área da classe (CA) variaram de 3.180,96 ha em 1990 para 4.797,90 ha em 2015. Em porcentagem, a classe representa para os anos 1990 e 2015, 4,08% e 5,64%, respectivamente.

O número de fragmentos (NP) aumentou de 408 em 1990, para 2.468 fragmentos detectados na imagem classificada para o ano de 2015.

Como é possível observar na figura 21a e 21b, algumas manchas desta classe surgiram após a classificação da imagem do ano de 2015.

Figura 21 - Fragmentos da classe Corpos D'Água nos anos 1990 (a) e 2015 (b)



A densidade de fragmentos (PD) também apresentou aumento significativo, uma vez que em 1990 eram encontrados 0,52 fragmentos a cada 100 hectares e em 2015 foram encontrados 2,90 fragmentos/100 ha. Para o tamanho médio dos fragmentos (AREA_MN), obteve-se valores de fragmento de 7,79 ha para o ano de 1990 e 1,94 ha para o ano de 2015. Assim foi possível perceber que ocorreu uma redução no tamanho dos fragmentos, ocasionando num maior grau de fragmentação desta classe.

Os índices de proximidade médio (PROX_MN) e distância média até o vizinho mais próximo (ENN_MN) analisam que o grau de isolamento desta classe aumentou, pois, o índice de proximidade resultante em 1990 foi de 239,77 e de 202,75 em 2015 e, de acordo esses valores, à medida que esse índice diminui, as manchas vão se distanciando entre si. Já os valores de distância até o vizinho mais próximo foram, respectivamente, 192,04 e 146,88.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A partir da metodologia proposta foi possível constatar as mudanças temporais na paisagem da Região Metropolitana de Aracaju, primeiramente identificando-as e quantificando-as a partir da aplicação das métricas da paisagem, apesar do nível de detalhamento ser reduzido em função da escala trabalhada ser pequena.

Após as análises propostas neste trabalho, percebeu-se que a área de estudo se encontra, desde 1990, com transformações estruturais da paisagem e fragmentação das áreas de vegetação natural – Floresta, Mangue e Restinga – sendo sobrepostas por classes relacionadas ao uso antrópico. Assim, foi possível traçar uma tendência das classes que estão em maior grau de fragmentação, fazendo ser possível identificar e promover ações de prevenção, controle e recuperação de áreas degradadas destacando desta maneira o grau de fragmentação da paisagem e suas implicações no planejamento e gestão espacial.

A redução das coberturas vegetais nativas Floresta e Mangue, a redução da classe Cultivo e/ou Pastagem, que foi identificada como a matriz da paisagem de estudo em detrimento do aumento da classe Adensamento Urbano, indicam a necessidade de políticas públicas voltadas à restauração das áreas de vegetação nativa e a implantação de sistemas compatíveis para o desenvolvimento sustentável e econômico da Região Metropolitana de Aracaju.

Outra contribuição desta pesquisa deu-se no sentido de compreender que se faz necessária a observação das mudanças ocorridas na paisagem ao longo do tempo, pois a partir delas é possível entender os processos – naturais ou antrópicos – que as influenciam e podem nortear prognósticos de tendências futuras.

Uma das limitações deste trabalho neste sentido foi justamente a quantidade de imagens de satélites temporais disponíveis, porém destaca-se que mesmo assim, foi possível quantificar 25 anos de mudanças. Caso novas imagens forem adquiridas elas podem contribuir para o estudo onde a metodologia empregada permanece a mesma.

Destaca-se que esta pesquisa demonstrou resultados satisfatórios utilizando dados e *softwares* gratuitos, o que facilita a execução de mais estudos voltados ao planejamento da paisagem.

Por fim, do ponto de vista metodológico deste estudo, existem algumas limitações. As imagens de média resolução limitam a pesquisa à uma escala

específica por dois motivos: a escassez de imagens com pouco recobrimento de nuvens na área do litoral e também a identificação das classes de uso do solo no momento da classificação, assim como as métricas da paisagem a serem aplicadas.

Para o estudo e monitoramento da fragmentação da paisagem recomenda-se dar continuidade em projetos que envolvam novas imagens de satélites. Com o propósito de acompanhar a evolução e manter desta forma um banco de dados atualizado. Novas informações, além de aumentar as amostras temporais, contribuem diretamente no diagnóstico e detecção de áreas de risco bem como de preservação ambiental.

Poderia ser testado e comparado outro *software* além do Fragstats como é o caso do *Patch Analyst*, que foi desenvolvida para ser aplicada no *software ArcGIS (ESRI)*. Além da comparação do processamento em outro software, poderiam ser executadas comparações com os resultados de análises em imagens de outros sensores e que tenham melhor resolução a fim de comparar com os resultados obtidos nesta pesquisa.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, C. G. **Análise espacial dos fragmentos florestais na área do Parque Nacional dos Campos Gerais, Paraná.** 2008. 72 f. Dissertação (Mestrado em Gestão do Território) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2008.

ALVES, N. M. S. **Análise geoambiental e socioeconômica dos municípios costeiros do litoral norte do estado de Sergipe – Diagnóstico como subsídio ao ordenamento e gestão do território.** Tese (Doutorado em Geografia) Núcleo de Pós-Graduação em Geografia, Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa, Universidade Federal de Sergipe, 2010.

ARAÚJO, H. M. D. **Cobertura vegetal, uso do solo e ocupação da terra na bacia costeira do rio Sergipe.** 2012. Disponível em: <<http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal12/Procesosambientales/Impactoambiental/19.pdf>>. Acesso em: 29 maio 2016.

AZEVEDO, D. G.; GOMES, R. L.; DE MORAES, M. E. B. ESTUDOS DA FRAGMENTAÇÃO DA PAISAGEM NA DEFINIÇÃO DE ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA A RECUPERAÇÃO AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BURANHÉM. **Boletim de Geografia**, v. 34, n. 2, p. 127, 2016. Disponível em: <http://www.periodicos.uem.br/ojs/index.php/BolGeogr/article/view/25554>>. Acesso em: 14 de abr. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.4025/bolgeogr.v34i2.25554>

BALTAR, V. T.; OKANO V. **Análise de Concordância – Kappa.** 2017. Disponível em: <<http://www.lee.dante.br/pesquisa/kappa/#author>> Acesso em: 10 de out. 2017.

BARROS, F. A. **Efeito de borda em fragmentos de Floresta Montana, Nova Friburgo – RJ.** 2006. 112f. Dissertação (Mestrado em Ciência Ambiental). Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro.

BERTRAND, G. **Paisagem e geografia física global. Esboço metodológico.** Tradução: Olga Cruz. (Trabalho publicado, originalmente, na “*Revue Geographique des Pyrénées et Du Sud-Ouest*”, Toulouse, v. 39 n. 3, p. 249-272, 1968). São Paulo: Caderno de ciências da Terra, Instituto de Geografia da Universidade de São Paulo, n. 13, 1972.

BITTENCOURT, A. C. S. P. MARTIN, L.; DOMINGUEZ, J. M. L.; FLEXOR, J. M.; FERREIRA, Y. A. Evolução Paleogeográfica Quaternária da Costa do Estado de Sergipe e da Costa Sul do Estado de Alagoas. **REVISTA BRASILEIRA DE GEOCIÊNCIAS**, v. 13, n. 2, p. 93-97, 1983.

BORGES, J.; CARVALHO, G.; MOURA, A. C. M.; NASCIMENTO, J. (2010). Estudo da conformação da paisagem de Sabará-MG para compreensão das métricas do fragstats em padrões de uso do solo. In: Congresso Brasileiro de Cartografia, 24., Aracaju, Sergipe, Anais...Aracaju: Sociedade Brasileira de Cartografia, 1473-1481.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Projeto RADAMBRASIL**: folha SC.24/25 Aracaju/Recife: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1983. 851 p. (Levantamento de Recursos Naturais,30). 2006.

_____. **Lei nº 7661**, de 16 de maio de 1988. Institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro. 1988. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L7661.htm>. Acesso em 20 out. 2016.

CABACINHA, C. D.; CASTRO, S.S.; GONÇALVES, D. A. Análise da estrutura da paisagem da alta bacia do Rio Araguaia na savana brasileira. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 40, n. 4, p. 675-690, 2010.

CALEGARI, L.; MARTINS, S. V.; GLERIANI, J. M.; SILVA, E.; BUSATO, L. C. Análise da dinâmica de fragmentos florestais no município de Carandaí, MG, para fins de restauração florestal. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 34, n. 5, p. 871-880, 2010.

CAMELO, A. P. S.; SANCHES, K. L. A Importância da Legislação Ambiental para Manutenção de Áreas Protegidas em Bacias Urbanas. **Enciclopédia Biosfera**, v.13 n.23; p. 1-15, 2016. Disponível em: <<http://www.conhecer.org.br/enciclop/2016a/agrarias/a%20importancia%20da%20legislacao.pdf>>. Acesso em: 14 abr. 2017. DOI: 10.18677/Enciclopedia_Biosfera_2016_001

CARRÃO, H.; CAETANO, M.; NEVES, N. LANDIC: cálculo de indicadores de paisagem em ambiente SIG. In: ENCONTRO DE UTILIZADORES DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA ESIG, 6, 2001, Oeiras, Portugal. *Anais...* Lisboa: Associação dos Utilizadores de Sistemas de Informação Geográfica USIG, 2001.

COHEN, J. A. Coefficient of Agreement for Nominal Scales. **Educational and Psychological Measurement**. v. 20, nº1. 1960.

COLGATON, R. G. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. **Remote Sensing of Environment**, v. 49, n. 12, p. 1671-1678, 1991.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA MONITORAMENTO POR SATÉLITE. **Satélites de Monitoramento**. Campinas:

Embrapa Monitoramento por Satélite, 2013. Disponível em: <<http://www.sat.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 2 maio 2017.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA TABULEIROS COSTEIROS. **Delimitação da área de atuação da Embrapa Tabuleiros Costeiros**. OS Nº 09 / 2014. Relatório Final. Aracaju-SE. 2014.

FARIAS, M. C. V.; VASCONCELOS, C. A. Remanescentes da Floresta Atlântica na sub-bacia hidrográfica do rio Poxim (Sergipe). In: **CONGRESSO NACIONAL DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL**, 3., ENCONTRO NORDESTINO DE BIOGEOGRAFIA, 5., 2013, João Pessoa. Anais eletrônicos. João Pessoa: Universidade Federal da Paraíba, 2013. Disponível em: <<http://www.cnea.com.br/wp-content/uploads/2013/03/III-CNEA-e-V-ENBioVOL-1final-13.11.13.pdf>>. Acesso em 25 maio 2018.

FERREIRA, C. O. Reflexões acerca do urbano em Sergipe. Revista Econômica do Nordeste. Fortaleza, v.37, nº 3 jul-set. 2006

FERNANDES, M. **Dinâmica do uso e cobertura da terra e aptidão para o manejo florestal na região semiárida do Estado de Sergipe - SE**. 2015. 113f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade de Brasília, Brasília/DF.

FERNANDES, M.; FERNANDES, M.; ALMEIDA, A.; GONZAGA, M. I. S.; GONÇALVES, F. Ecologia da Paisagem de uma Bacia Hidrográfica dos Tabuleiros Costeiros do Brasil. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 24, 2017. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2179-0872017000100120&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 14 abr. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.025015>

FONTES, A. L. **Caracterização geoambiental da bacia do rio Japaratuba/SE**. Tese de doutorado, Rio Claro, IGCE/UNESP, 1997. 298 p.

FORMAN, R. T.; GODRON, M. Landscape Ecology. Ed. **John Wiley**, Nova Iorque, 619 p., 1986.

FRANÇA, V.L. A. **O Direito à Cidade de Aracaju** In: Aracaju: 150 anos de vida urbana. – Vera Lúcia Alves França e Maria Lúcia de Oliveira Falcon (Org.). Aracaju: PMA/SEPLAN, 2005.

FROHN, R. C. **Remote Sensing for Landscape Ecology – New Metric Indicators for Monitoring, Modeling and Assessment of Ecosystems**. Boca Rator: Lewis, 1998, 99 p.

GOERL, R. F.; SIEFERT, C. A. C.; SCULTZ, G. B.; SANTOS, C. S.; SANTOS, I. Elaboração e Aplicação de Índices de Fragmentação e Conectividade da Paisagem para Análise de Bacias Hidrográficas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 5, n. 1, p.1000-1012, 2011.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. Digital Image Processing. Editora: **Pearson Prentice Hall**, 3 ed., New Jersey, 2008. Disponível em: <http://web.ipac.caltech.edu/staff/fmasci/home/astro_refs/Digital_Image_Processing_3rdEd_truncated.pdf>. Acesso em: 30 abr. 2017.

GHOSH, A.; MUNSHI, M.; AREENDRAN, G.; JOSHI, P K. Pattern Space Analysis of Landscape Metrics for Detecting Changes in Forests of Himalayan Foothills. **Asian Journal of Geoinformatics**. Vol.12, No.1. 2012.

GURRUTXAGA SAN VICENTE, M. **Conectividad ecológica del territorio y conservación de la biodiversidad: nuevas perspectivas en ecología del paisaje y ordenación territorial**. Vitoria-Gasteiz: Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco, 2004.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **CENSO DEMOGRÁFICO 2010**. Disponível em: <http://www.censo2010.ibge.gov.br/primeiros_dados_divulgados/index.php?uf=28>. Acesso em: 09 de nov. 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Brasil em Síntese**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 01 de abr. 2018.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesConvencionais>>. Acesso em 20 de out.2016.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. **TUTORIAL DE GEOPROCESSAMENTO: Classificação de Imagens**. 2017. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/classific.html>>. Acesso em: 14 abr. 2017.

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**, Viçosa, v. 39, n. 3, p. 467-474, jun. 2015. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-67622015000300467&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 14 abr. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0100-67622015000300007>

LANG, S.; BLASCHKE, T. **Análise da Paisagem com SIG**. São Paulo: Oficina de Textos, 424p. 2009.

LANDIS, J.; KOCH, G. The measurement of observer agreement for categorical data. Washington, USA. **Biometrics**, v. 33, n. 1, p. 159-1174, 1977.

LIU, T.; YANG, X. Monitoring land changes in an urban area using satellite imagery, GIS and landscape metrics. **ELSEVIER**. Applied Geography n. 56.42 – 54. 2015.

LIU, H.; WENG, Q. H. Landscape metrics for analysing urbanization-induced land use and land cover changes. **Geocarto International**, 1e12. 2013.

METZGER, J. P. Estrutura da paisagem e fragmentação: análise bibliográfica. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v.71, n.3, p.445-463, 1999.

METZGER, J. P. O que é Ecologia de Paisagens. **Biota neotropica**, v.1, n.1, p. 1-9, 2001.

METZGER, J. P. Estrutura da paisagem: o uso adequado de métricas. In: CULLEN JR. L.; RUDRAN, R.; VALLADARES- PADUA, C. (orgs.). **Métodos de estudos em biologia da conservação e manejo da vida silvestre**. Curitiba: Ed. UFP, 2006. p. 423-453.

MORAES, A.C.R. **Contribuições para a gestão da zona costeira do Brasil: elementos para uma geografia do litoral brasileiro**. 2. ed. São Paulo: Annablume, 2007. v. 01. 232 p.

MUEHE, D. **Erosão e progradação do litoral brasileiro**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2006.

MCCAULEY, D. J.; PINSKY, M. L.; PALUMBI, S. R.; ESTES, J. A.; JOYCE, F. H.; WARNER, R. R. Marine defaunation: Animal loss in the global ocean. **Science**, 347(6219), 1255641–1255641. 2015. <https://doi.org/10.1126/science.1255641>

MCGARIGAL, K., MARKS, B. J. FRAGSTATS: **Spatial pattern analysis program for quantifying categorical maps**. Forest Science Department, Oregon State University, Corvallis, 1995, 112p

MCGARIGAL, K.; TAGIL, S.; CUSHMAN, S. A. Surface metrics: an alternative to patch metrics for the quantification of landscape structure. **Landscape Ecology**, v. 24, n. 3, p. 433–450, 2009.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto Princípios e Aplicações**. 4. ed. São Paulo –SP: Blucher, 2010.

OLIVEIRA, L. S.; SOUZA, R. M. Análise Geoecológica da Paisagem Costeira do Município de Aracaju/Sergipe. **RA'E GA** (UFPR), v. 42, p. 86-103, 2017

O'NEILL, R. V.; KRUMMEL, J. R.; GARDNER, R. H.; et al. Indices of landscape pattern. **Landscape Ecology**, v. 1, n. 3, p. 153–162, 1988

PRATA, A. P. DO N.; AMARAL, M. DO C. E.; FARIAS, M. C. V.; ALVES, M. V. (ORGS.). **Flora de Sergipe**. 1a edição ed. Aracaju: Gráfica e Editora Triunfo, 2013.

RIBEIRO, M. C.; METZGER, J. P.; MARTENSEN, A. C.; PONZONI, F. J.; HIROTA, M. M. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological Conservation**, v. 142, n. 6, p. 1141–1153, 2009.

RICHARDS, J. A.; JIA, X. **Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction**. Australia: Springer - Verlag berlin Heidelberg, 2006. 439p.

RODRIGUES, E. **Ecologia de fragmentos florestais no gradiente de urbanização de Londrina - PR**. 1993.102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 1993.

ROY, D.P.; WULDER, M.A.; LOVELAND, T.R.; WOODCOCK, C.E.; ALLEN, R.G.; ANDERSON, M.C.; HELDER, D.; IRONS, J.R.; JOHNSON, D.M.; KENNEDY, R.; SCAMBOS, T.A.; SCHAAF, C.B.; SCHOTT, J.R.; SHENG, Y.; VERMOTE, E.F.; BELWARD, A.S.; BINDSCHADLER, R.; COHEN, W.B.; GAO, F.; HIPPLE, J.D.;

HOSTERT, P.; HUNTINGTON, J.; JUSTICE, C.O.; KILIC, A.; KOVALSKYY, V.; LEE, Z.P.; LYMBURNER, L.; MASEK, J.G.; MCCORKEL, J.; SHUAI, Y.; TREZZA, R.; VOGELMANN, J.; WYNNE, R.H.; ZHU, Z. Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research. **Remote Sensing of Environment**. 154–172. 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2014.02.001>. Acesso em: 14 abr. 2017.

SANTOS, R. A. dos; MARTINS, A. A.; NEVES, J. P.; LEAL, R.A. (Orgs.) **Geologia e recursos naturais do estado de Sergipe**: texto explicativo e mapa geológico do estado de Sergipe. Brasília: CPRM, 1998. 156 p., 1998.

SERGIPE. Secretaria de Estado do Planejamento, da Ciência e da tecnologia. **Atlas digital sobre os recursos hídricos de Sergipe**. Sergipe: SEPLANTEC/SRH, 2011.

SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS HÍDRICOS – SEMARH. **MANUAL DA SALA DE SITUAÇÃO DE SERGIPE**. Versão 6.2014. 2014. Disponível em: < http://progestao.ana.gov.br/portal/progestao/progestao-1/acompanhamento-programa/aplicacao-dos-recursos/acompanhamento-das-metas-de-cooperacao-federativa/manuais-de-salas-de-situacao/manual-de-operacao-da-sala-de-situacao_se.pdf > Acesso em: 29 de maio 2018.

SILVA M.S.F., SOUZA R.M. Spatial patterns of forest fragmentation in the Flona Ibura - Sergipe. **Mercator** 2014; 13(3): 121-137. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1984-22012014000300121 > Acesso em: 14 de Abr. 2017. <http://dx.doi.org/10.4215/RM2014.1303.0009>.

SOUZA, C. R. G. A. Erosão Costeira e os Desafios da Gestão Costeira no Brasil. **Revista da Gestão Costeira Integrada** 9(1):17-37. 2009.

SUPERINTENDÊNCIA DE RECURSOS HÍDRICOS - SRH. Disponível em: <<http://www.semarh.se.gov.br/srh>>. Acesso em: 20 de out. 2016.

TROPPEMAIR, H. **Perfil ecológico e fitogeográfico do Estado de Sergipe**. Biogeografia, n.2, São Paulo, USP/ Instituto de Geografia, 1971.

TROLL, Carl, “Die geographische Landschaft und ihre Erforschung” – Studim Generale, 1950, traduzido por BRAGA, G.C. **Espaço e Cultura**, Nº 4, junho de 1997

TURNER, M. G.; O’NEILL, R. V.; GARDNER, R. H.; MILNE, B. T. Effects of changing spatial scale on the analysis of landscape pattern. **Landscape Ecology**. V. 3. n. 3/4. 1989. p. 153- 162.

TURNER, M. G.; GARDNER, R. H. Quantitative Methods in Landscape Ecology. **Ecological Studies**, v. 82, Berlin, 536 p., 1991.

VALENTE, R. O. A.; VETTORAZZI, C. A. Análise da estrutura da paisagem na Bacia do Rio Corumbataí, SP. **SCENTIA FLORESTALIS**, n. 62, p. 114-129, dez. 2002. Disponível em: <<http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr62/cap10.pdf>>. Acesso em: 02 maio 2017.

VOGELMANN, J. E.; HOWARD, S. M.; YANG, L. M., LARSON, C. R.; WYLIE, B. K.; VAN DRIEL, N. Completion of the 1990s national land cover data set for the conterminous United States from Landsat thematic mapper data and ancillary data sources. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, 67(6), 650 - 662. 2001.

VOLOTÃO, C. F. S. **Trabalho de análise espacial: Métricas do Fragstats**. INPE: São José dos Campos, São Paulo–SP, 1998.

WANDERLEY, L. L. **Litoral sul de Sergipe: uma proposta de proteção ambiental e desenvolvimento sustentável**. Tese de doutorado, Rio Claro, IGCE/UNESP, 1998. 421p.

WILCOVE, D. S.; MCLELLAN, C. H.; DOBSON, A. P. Habitat Fragmentation in the Temperate Zone. 1986. Disponível em: <https://www.fws.gov/southwest/es/documents/r2es/litcited/lpc_2012/wilcove_et_al_1986.pdf>. Acesso em: 2 maio 2017.

YANG, X., & LIU, Z. Using satellite imagery and GIS for land-use and landcover change mapping in an estuarine watershed. **International Journal of Remote Sensing**, 26(23), 5275 - 5296. 2005.

YANG, X., & LO, C. P. Using a time series of satellite imagery to detect land use and land cover changes in the Atlanta, Georgia metropolitan area. **International Journal of Remote Sensing**, 23(9), 1775 - 1798. 2002.

YUAN, F., SAWAYA, K. E., LOEFFELHOLZ, B. C., & BAUER, M. E. Land cover classification and change analysis of the Twin Cities (Minnesota) metropolitan area by multitemporal Landsat remote sensing. **Remote Sensing of Environment**, 98(2e3), 317 - 328. 2005.

ANEXO A – Definição de métricas aplicadas à nível de Classe

Métrica	Unidade	Alcance	Comentário
Área Total da Classe	Hectare	$CA > 0$, sem limite.	Representa quanto de uma classe ocupa na paisagem total.
Porcentagem da Classe	Porcentagem	$0 < PLAND \leq 100$	A porcentagem de paisagem quantifica a abundância proporcional de cada tipo de classe na paisagem. Configura-se importante fator de análise da composição da paisagem total, como a identificação da sua matriz.
Número de Fragmentos	Nenhuma	$NP \geq 1$, sem limite. $NP = 1$, quando a classe consiste em um único fragmento.	É uma medida simples da subdivisão ou fragmentação de uma classe. Pode ser analisada juntamente com a métrica de Área média dos fragmentos, sugerindo variação no grau de fragmentação
Densidade de Fragmentos	Unidades por 100 hectares	$PD > 0$, limitado pelo tamanho da célula.	Expressa o número de fragmentos por uma base unitária (100 hectares), o que facilita comparações entre áreas de tamanhos variados. No entanto, se a área total analisada é constante, este índice reforça o número de fragmentos, sugerindo maior ou menor grau de fragmentação.
Área média dos fragmentos de uma classe	Hectare	$AREA > 0$, sem limite.	Caso a área média dos fragmentos tenha diminuído e, atrelado ao aumento ou diminuição do número de fragmentos de uma classe, pode sugerir variação no grau de fragmentação.
Índice de proximidade médio dos fragmentos de uma classe	Nenhuma	$PROX \geq 0$.	O valor aumenta à medida que a vizinhança é cada vez mais ocupada por fragmentos da mesma classe e como esses fragmentos se tornam mais próximos e mais contíguos (ou menos fragmentados) na distribuição.
Distância média até o vizinho mais próximo entre os fragmentos de uma Classe	Metros	$ENN > 0$, sem limite.	Utiliza a menor distância em linha reta entre o ponto focal de um fragmento e seu vizinho mais próximo da mesma classe.

ANEXO B – Planilha de resultados das métricas por classe.

Classe - Floresta (1990 - 2015)			
Métricas	CA (ha)	8.568,27	5.676,57
	PLAND (%)	10,98	6,68
	NP	5.609	4.203
	PD (n/100ha)	7,19	4,94
	AREA_MN	1,528	1,351
	PROX_MN	52,11	26,40
	ENN_MN	107,35	108,73

Classe - Mangue (1990 - 2015)			
Métricas	CA (ha)	4.720,59	4.946,67
	PLAND (%)	6,05	5,82
	NP	1.418	5.341
	PD (n/100ha)	1,82	6,28
	AREA_MN	3,329	0,926
	PROX_MN	24,33	11,12
	ENN_MN	159,63	101,89

Classe - Corpos D'Água (1990 - 2015)			
Métricas	CA (ha)	3.180,96	4.797,90
	PLAND (%)	4,08	5,64
	NP	408	2.468
	PD (n/100ha)	0,52	2,90
	AREA_MN	7,797	1,944
	PROX_MN	239,77	202,75
	ENN_MN	192,04	146,88

Classe - Restinga (1990 - 2015)			
Métricas	CA (ha)	10.547,82	15.477,03
	PLAND (%)	13,52	18,21
	NP	12.746	19.466
	PD (n/100ha)	16,34	22,90
	AREA_MN	0,828	0,795
	PROX_MN	29,89	48,47
	ENN_MN	85,70	74,08

Classe - Solo Exposto (1990 - 2015)			
Métricas	CA (ha)	1.183,59	2.669,49
	PLAND (%)	1,52	3,14
	NP	3.727	3.612
	PD (n/100ha)	4,78	4,25
	AREA_MN	0,318	0,739
	PROX_MN	1,75	6,02
	ENN_MN	130,78	123,25

Classe - Cultivo e/ou Pastagem (1990 - 2015)			
Métricas	CA (ha)	43.498,62	38.259,09
	PLAND (%)	55,76	45,01
	NP	4.189	5.793
	PD (n/100ha)	5,37	6,82
	AREA_MN	10,384	6,604
	PROX_MN	27.973,27	16.976,57
	ENN_MN	79,63	77,52

Classe - Adensamento Urbano (1990 - 2015)			
Métricas	CA (ha)	6.315,39	13.177,17
	PLAND (%)	8,10	15,50
	NP	5.127	7.520
	PD (n/100ha)	6,57	8,85
	AREA_MN	1,232	1,752
	PROX_MN	120,84	222,38
	ENN_MN	106,05	89,11