



UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMIÁRIDO  
MESTRADO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO



TICIANA CRISTINA FERNANDES DIÓGENES

**MINERAÇÃO DE IMAGENS DE SENSORIAMENTO REMOTO PARA  
DETECÇÃO DE PADRÕES FLUVIAIS NO RIO MOSSORÓ**

MOSSORÓ, RN

2011

TICIANA CRISTINA FERNANDES DIÓGENES

**MINERAÇÃO DE IMAGENS DE SENSORIAMENTO REMOTO PARA  
DETECÇÃO DE PADRÕES FLUVIAIS NO RIO MOSSORÓ**

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-graduação em Ciência da Computação da Universidade do Estado do Rio Grande do Norte e Universidade Federal Rural do Semi-Árido como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Mestre em Ciência da Computação.

Orientador: Prof. Dr. Sc. Marcelino Pereira dos Santos Silva – UERN.

Co-orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dra. Sc. Angélica Félix de Castro – UFERSA.

MOSSORÓ, RN

2011

**Catálogo da Publicação na Fonte.**  
**Universidade do Estado do Rio Grande do Norte.**

**DIÓGENES, TICIANA CRISTINA FERNANDES.**  
**MINERAÇÃO DE IMAGENS DE SENSORIAMENTO REMOTO PARA**  
**DETECÇÃO DE PADRÕES FLUVIAIS NO RIO MOSSORÓ. / TICIANA**  
**CRISTINA FERNANDES DIÓGENES. – MOSSORÓ, RN, 2011.**

75 f.

Orientador(a): Prof. Dr. Sc. Marcelino Pereira dos Santos Silva.

Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação). Universidade do Estado do Rio Grande do Norte. Universidade Federal Rural do Semi-árido. Curso de Mestrado em Ciência da Computação.

1. Geotecnologias - Dissertação. 2. Mineração de dados - Dissertação. 3. Métricas da paisagem - Dissertação. I. Silva, Marcelino Pereira dos Santos.

Bibliotecária: Elaine Paiva de Assunção CRB 15 / 492

TICIANA CRISTINA FERNANDES DIÓGENES

**MINERAÇÃO DE IMAGENS DE SENSORIAMENTO REMOTO PARA  
DETECÇÃO DE PADRÕES FLUVIAIS NO RIO MOSSORÓ**

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-graduação em Ciência da Computação da Universidade do Estado do Rio Grande do Norte e Universidade Federal Rural do Semi-Árido como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Mestre em Ciência da Computação.

APROVADA EM: \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Sc. Marcelino Pereira dos Santos Silva – UERN  
Presidente

---

Prof<sup>a</sup>. Dra. Sc. Angélica Félix de Castro – UFERSA  
Primeiro Membro

---

Prof. Dr. Sc. Paulo César Moura da Silva – UFERSA  
Segundo Membro

---

Prof. Dr. Sc. Diogo Pinheiro Fernandes Pedrosa – UFRN  
Terceiro Membro

## DEDICATÓRIA

À minha queridíssima avó  
Letícia Martins Fernandes  
(*in memoriam*).

Aos meus pais e ao meu  
irmão e afilhado Ênio  
Martins Leite.

## AGRADECIMENTOS

Reservo especialmente este espaço para espiritualmente agradecer primeiramente a DEUS, que Ele seja louvado por toda sua providência e auxílio ao término deste trabalho. Gostaria também de agradecer a imaculada Conceição, pela qual sou devota e a toda COMUNIDADE CATÓLICA SHALOM pela qual FELIZMENTE faço parte, especialmente, nas pessoas do Moysés Louro de Azevedo Filho (fundador) e Maria Emmir Oquendo Nogueira (co-fundadora) que decidiram por essa maravilhosa vocação para os leigos (pessoas comuns que não são religiosos, eg. padres e freiras), mas que querem consagrar a sua vida a Deus e a IGREJA CATÓLICA APOSTÓLICA ROMANA, por tanto amarem esse Senhor vivo! Por gratidão a Ele e amor a santa igreja! Enfim, agradeço por toda oração e palavras de vitória ditas por todos os irmãos em Cristo que fazem parte dessa admirável família SHALOM.

Agradeço aos meus pais Walter Diógenes Júnior e Maria José Martins Fernandes, que mesmo sem estarem dentro desse misterioso e exigente “mundo acadêmico” tiveram sempre ali prontos a escutarem. Agradeço também ao meu irmão e afilhado Ênio e irmãs pelo apoio emocional e pela compreensão quando necessitei me ausentar. Pela compreensão da minha ausência, também agradeço as minhas tias: Daisy e Dinorá que superaram a anuidade de nossas conversas e viagens aos finais de semana. Também através dessas tias tive a alegria de constantemente ser apoiada com palavras de otimismo e credibilidade nas minhas capacidades e conclusão deste trabalho.

Aos orientadores Dr. Marcelino Pereira dos Santos Silva e Dra. Angélica Félix de Castro pela paciência, dedicação, orientação e por enriquecerem meu trabalho com suas importantes considerações. Por apostarem!

Ao Thales Sehn Korting pela gentileza e disponibilidade nos diálogos sobre o GeoDMA. Ao Ewerton pela indispensável parceria. Aos professores Rodrigo Guimarães e Alfredo Grégio pela troca de conhecimento na área de aplicação (Gestão Ambiental) e fornecimento de subsídios materiais através de seu monitor de laboratório Samuel Moura pelo qual também sou grata. Ao Fábio Mesquita pela sua disponibilidade. Ao Paulo César Moura da Silva pela sua presença neste projeto.

Aos membros da banca examinadora, por terem aceitado o convite dispondo de seu precioso tempo para analisar este trabalho.

A UERN e a UFRSA pela oportunidade de entrar no programa de pós-graduação, proporcionando um acesso mais profundo ao conhecimento científico para que eu tivesse um maior crescimento profissional. A CAPES pelo o apoio financeiro que possibilitou a dedicação exclusiva a esta pesquisa.

Aos meus amigos em especial aqueles que considero “minha família” (Robéria, Alan Rodrigues, Vinícius Luan e Pâmela Rochelle – minha afilhada). Obrigada pelo o companheirismo, vocês foram os canais para a remotivação da fé e da esperança à confiança em Deus e também foram aqueles em que pude jogar conversa fora para tirar o stress após enormes desafios. Enfim, vocês são a família que Deus me permitiu escolher. Também quero agradecer por um amigo que partiu durante este trabalho. Agradeço aos colegas do laboratório por todo o ânimo e partilhas que me fizeram progredir nas resoluções científicas e profissionais.

Finalmente, agradeço a todos que de alguma forma contribuíram com este trabalho.

“A sede de inovações, que há muito tempo se apoderou das sociedades e as tem numa agitação febril, devia, tarde ou cedo, passar das regiões da política para a esfera vizinha da economia social”.

Raniero Catalamessa.

## RESUMO

O Núcleo de Estudos Socioambientais e Territoriais (NESAT) cedeu um acervo de imagens de Sensoriamento Remoto do período de 1989 e 2008 sobre o Rio Mossoró. O fornecimento destas imagens requer técnicas adequadas de exploração dos dados espaciais que encontram-se inerentes às imagens de satélite. Porém, a capacidade humana é limitada para extrair informações a partir destes bancos de dados, pois o principal problema em extração de informações a partir de bancos de imagens de Sensoriamento Remoto é a emissão de padrões de mudança. Diante desta problemática, esta dissertação utilizou-se da geomorfologia fluvial que atrelada aos conceitos de mineração de dados, imagens de Sensoriamento Remoto e métricas da paisagem, explorou a forma física dos objetos da paisagem nessas imagens, descobrindo o padrão fluvial do Rio Mossoró para a melhoria do nível de tomadas de decisões sobre os recursos hídricos encontrados nesse manancial. Diante deste contexto, o objetivo geral desta pesquisa foi sugerir uma nova alternativa aos profissionais que atuam na gestão de recursos hídricos propondo mais um auxílio de monitoramento das águas superficiais através do geoprocessamento. Assim, observou-se a paisagem do Rio Mossoró através da ferramenta computacional *Geographical Data Mining Analyst* (GeoDMA) que oferece recursos de mineração de dados espaciais, utilizando-se de conhecimentos predispostos pelo especialista no domínio (e.g. gestor ambiental, ecólogo, agrônomo e etc) para poder encontrar o padrão fluvial sobre o Rio Mossoró, a fim de que futuramente sejam efetivadas as devidas tomadas de decisões referentes a esse manancial, para tanto a contribuição computacional foi implementar novas métricas da paisagem: *total edge* (TE), *number of patches* (NP) e *interspersion and juxtaposition index* (IJI)..

**Palavras-chave:** Mineração de dados espaciais. Métricas da paisagem. GeoDMA. Padrão fluvial.

## ABSTRACT

The Center for Social and Environmental and Territorial Studies (NESAT) yielded a collection of remote sensing images of the period between 1989 and 2008 on the River Mossoró. The supply of these images requires appropriate techniques for the exploitation of spatial data that are inherent to satellite images. But the human capacity is limited to extract information from these databases, because the main problem in extracting information from the banks of remote sensing images is the issue of patterns of change. Faced with this problem, this work made use of fluvial geomorphology linked to the concepts of data mining, remote sensing images and landscape metrics, explored the physical landscape of the objects in these images, discovering the pattern of the river to the Rio Mossoró improvement of decision-making on water resources found at this source. Given this context, the objective of this research was to suggest a new alternative to professionals in the management of water resources offering more aid monitoring of surface water through the GIS. Thus, there was a river landscape by Mossoró computational tool Geographical Data Mining Analyst (GeoDMA) that provides resources for spatial data mining, using the specialist knowledge in the field predisposed (e.g. Environmental manager, ecologist, agronomist etc.) in order to find the pattern on the river Rio Mossoró, so that future due to take effect the decisions taken concerning this source, both for the contribution was to implement new computing landscape metrics: total edge (TE), number of patches (NP) and interspersion and juxtaposition index (IJI).

**Keywords:** Spatial data mining. Landscape metrics. GeoDMA. Fluvial pattern.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – SISTEMA DE IMAGEAMENTO EM SENSORIAMENTO REMOTO...	18
FIGURA 2 – ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO.....	19
FIGURA 3 – REPRESENTAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS ESPACIAIS NA PAISAGEM.....	23
FIGURA 4 – DIFERENTES NÍVEIS DE APLICAÇÃO EM BDG.....	29
FIGURA 5 – FRAMEWORK DO GEODMA E SEGMENTAÇÃO DA IMAGEM.....	34
FIGURA 6 – MÓDULOS DO SISTEMA GEODMA.....	35
FIGURA 7 – MODELO DE BACIA HIDROGRÁFICA.....	37
FIGURA 8 – SEGMENTAÇÃO DA IMAGEM.....	42
FIGURA 9 – PROCESSO DE MINERAÇÃO DE IMAGENS.....	43
FIGURA 10 – OBJETOS REPRESENTANDO A TIPOLOGIA DE CANAIS FLUVIAIS.....	52
FIGURA 11 – ÁRVORE DE DECISÃO PARA DETECÇÃO DE CANAL FLUVIAL NO RIO SINTÉTICO.....	53
FIGURA 12 – LOCALIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE MOSSORÓ/RN.....	55
FIGURA 13 – VISTA AÉREA DO RIO MOSSORÓ.....	56
FIGURA 14 – FLUXOGRAMA DE PROCEDIMENTOS PARA DETECÇÃO DE PADRÕES FLUVIAIS.....	57
FIGURA 15 – DIFERENTES TAMANHOS DE CÉLULAS PARA EXTRAÇÃO DO PADRÃO DO RIO MOSSORÓ.....	59
FIGURA 16 – IMAGENS MINERADAS PARA DETECÇÃO DO PADRÃO FLUVIAL. ....	60
FIGURA 17 – ÁRVORE DE DECISÃO (A) DE 1989.....	63
FIGURA 18 – ÁRVORE DE DECISÃO (B) DE 1989.....	64
FIGURA 19 – ÁRVORE DE DECISÃO (C) DE 1989.....	64
FIGURA 20 – ÁRVORE DE DECISÃO (A) DE 2008.....	65
FIGURA 21 – ÁRVORE DE DECISÃO (B) DE 2008.....	65
FIGURA 22 – ÁRVORE DE DECISÃO (C) DE 2008.....	65
FIGURA 23 – PERCEPÇÃO DO DESNÍVEL FLUVIAL ATRAVÉS DA SEGMENTAÇÃO DA IMAGEM.....	66

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – TIPOLOGIA PARA PADRÕES DE CANAIS FLUVIAIS.....	47
QUADRO 2 – MÉTRICAS DA PAISAGEM PARA CANAIS FLUVIAIS.....	50
QUADRO 3 – IJI ADAPTADA PARA O GEODMA.....	51
QUADRO 4 – CONJUNTO DE MÉTRICAS UTILIZADAS NA QUANTIFICAÇÃO DA PAISAGEM DO RIO MOSSORÓ.....	61

## LISTA DE SIGLAS

AWMSI – *Area Weight Mean Shape Index*  
BDG – Bancos de Dados Geográficos  
CA – *Class Area*  
ED – *Edge Density*  
GeoDMA – *Geographical Data Mining Analyst*  
GOLAPA – *Geographical Online Analytical Processing Architecture*  
GKD – *Geographic Knowledge Discovery*  
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
IJI – *Interspersion and Juxtaposition Index*  
MI – Ministério da Integração Nacional  
MPFD – *Mean Patch Fractal Dimension*  
MPS – *Mean Patch Size*  
MSI – *Mean Shape Index*  
NESAT – Núcleo de Estudos Socioambientais e Territoriais  
NP – *Number of Patches*  
OGC – *Open Geospatial Consortium*  
PD – *Patch Density*  
PDI – Divisão de Processamentos de Imagens  
PSCOV – *Patch Size Coefficient of Variation*  
PSSD – *Patch Size Standard Deviation*  
SIG – Sistema de Informação Geográfica  
SOM – *Self Organizing Maps*  
SSW-NE – Sudoeste do Nordeste  
TE – *Total Edge*

## SUMÁRIO

<b>DIÓGENES, TICIANA CRISTINA FERNANDES.....</b>	<b>3</b>
<b>MINERAÇÃO DE IMAGENS DE SENSORIAMENTO REMOTO PARA DETECÇÃO DE PADRÕES FLUVIAIS NO RIO MOSSORÓ. / TICIANA CRISTINA FERNANDES DIÓGENES. – MOSSORÓ, RN, 2011.....</b>	<b>3</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>15</b>
1.1 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO.....	16
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>17</b>
2.1 SENSORIAMENTO REMOTO.....	17
2.2 ECOLOGIA DA PAISAGEM E MÉTRICAS DA PAISAGEM.....	22
2.3 FRAGSTATS.....	26
2.4 MINERAÇÃO DE DADOS GEOGRÁFICOS.....	28
2.5 GEOGRAPHICAL DATA MINING ANALYST .....	32
2.6 HIDROGRAFIA.....	36
2.7 CANAIS E PADRÕES FLUVIAIS.....	38
<b>3 MINERAÇÃO DE PADRÕES DE CANAIS FLUVIAIS EM IMAGENS DE SENSORIAMENTO REMOTO.....</b>	<b>41</b>
3.1 O PROCESSO DE MINERAÇÃO DE IMAGENS.....	41
3.2 TIPOLOGIA DE PADRÕES ESPACIAIS PARA CANAIS FLUVIAIS.....	45
3.3 MÉTRICAS DA PAISAGEM PARA CANAIS FLUVIAIS.....	49
3.4 MINERAÇÃO DE PADRÕES EM DADOS SINTÉTICOS.....	52
<b>4 ESTUDO DE CASO.....</b>	<b>55</b>
4.1 ÁREA DE ESTUDO.....	55
4.2 METODOLOGIA.....	56
4.2.1 Aquisição das imagens de Sensoriamento Remoto do Rio Mossoró.....	57
4.2.2 Associação de padrões de canais fluviais para tipologia.....	58
4.2.3 Definição do tamanho das células para análise espacial do Rio Mossoró.....	58
4.2.4 Análise para a escolha das métricas.....	59
4.2.5 Mineração de dados em Imagens de Sensoriamento Remoto.....	60
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	62
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>68</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>70</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A dinâmica dos ambientes fluviais é composta por processos de erosão e deposição. Para melhor percebê-los, é necessário explorar os dados espaciais e utilizar de técnicas de mineração de dados e análise espacial, a fim de se poder extrair padrões da paisagem fluvial. Por outro lado, é notório o crescimento explosivo do volume de dados espaciais advindo do uso de tecnologias avançadas, por exemplo os satélites, os quais vêm sendo uma importante área de pesquisa em todo o mundo. Devido a esta realidade, trabalhos recentes buscam desenvolver tecnologias e colaborar com ferramentas avançadas que permitam o suporte à captura, armazenamento, tratamento e análise dos dados espaciais, a fim de se extrair padrões geográficos (MILLER, 2009).

De fato, a produção dessas bases de dados digitais pode trazer alguns questionamentos como: o que fazer com esses dados que estão inerentes ao acervo de imagens? Como fazer para analisar o volume total de dados que se encontram disponíveis? Ao conhecê-los, como utilizá-los para poder beneficiar instituições e regiões? Como exemplo, cita-se o semiárido nordestino brasileiro, que encontra-se com elevada escassez de recursos hídricos e exige tomadas de decisões eficazes a esta realidade.

Este trabalho busca através, da técnica de mineração de dados, descobrir padrões e analisá-los a partir de imagens de Sensoriamento Remoto, tomando como estudo de caso o Rio Mossoró com imagens do satélite Landsat 5 que contém características espectrais para corpos hídricos na banda 4 da imagem, propiciando a extração, com mais eficiência, do padrão físico do rio.

O objetivo desta pesquisa é utilizar técnicas de mineração de dados e métricas para quantificar a paisagem hídrica, tomando como estudo de caso o Rio Mossoró, descobrindo e analisando padrões fluviais que possam ser encontrados e associados às diferentes tomadas de decisões para a gestão dos recursos naturais desse rio.

Desta forma, pode-se contribuir com a melhoria da eficiência ao monitoramento do manancial, pois o detalhamento dos dados espaciais através do *Geographical Data Mining Analyst* (GeoDMA) possibilita ao especialista no domínio (pesquisador ou gestor ambiental) realizar um mapeamento hídrico mais preciso. A relevância deste tema pode ser verificada através do investimento de quase 1 milhão de reais do Ministério da Integração Nacional (MI), que em 2004 realizou sucessivas ações para melhor conhecer a hidrologia do nosso país, verificando especialmente a condição física dos espelhos d'água existentes sobre todo o

território nacional, a fim de buscar definir que tipos de recursos hídricos o Brasil possui, para poder tomar decisões mais eficazes sobre os mesmos (FUNCEME, 2007).

## 1.1 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO

Esta dissertação está organizada conforme segue. Inicialmente será apresentada a fundamentação teórica sobre mineração de imagens de Sensoriamento Remoto, métricas da paisagem, GeoDMA, hidrografia e padrões de canais fluviais para a quantificação da paisagem. Posteriormente serão expostos os conceitos referentes ao processo de mineração de imagens, tipologia de padrões e métricas da paisagem para canais fluviais, enfatizando a importância da associação da tipologia fluvial com os objetos encontrados na paisagem para realizar a mineração e extrair o padrão fluvial do rio. Na sequência discorre-se sobre o estudo de caso que é referente à quantificação da paisagem do Rio Mossoró, detalhando aspectos relativos à estrutura da paisagem. E finalmente, as considerações finais sobre a pesquisa realizada e uma visão de trabalhos futuros.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esta seção apresenta a fundamentação teórica de alguns assuntos que são relevantes para o desenvolvimento desta pesquisa como: Sensoriamento Remoto, ecologia da paisagem, métricas da paisagem, mineração de dados geográficos, hidrografia, GeoDMA e padrões de águas superficiais (canais fluviais).

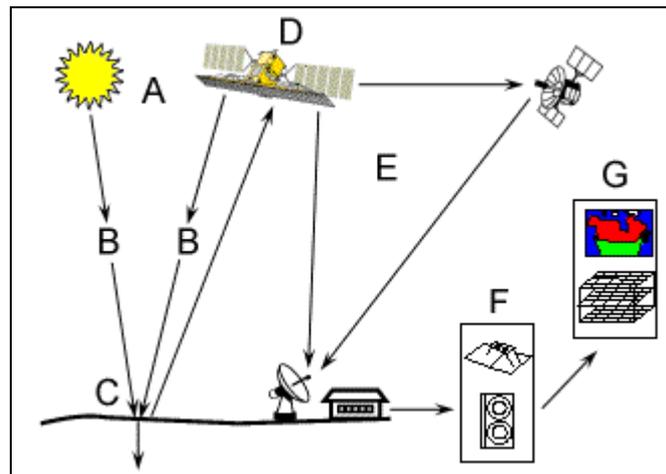
### 2.1 SENSORIAMENTO REMOTO

O Sensoriamento Remoto é uma área das ciências aplicadas que busca, a partir de um conjunto de atividades (detecção, aquisição e análise), obter informações dos objetos que compõem a superfície terrestre, isto sem a necessidade de contato direto com os mesmos. Estas atividades envolvem a interpretação e extração de informações da energia eletromagnética que é utilizada na obtenção dos dados por Sensoriamento Remoto e emitida ou refletida pelos objetos terrestres e, conseqüentemente, registrada por sensores remotos (*CANADA CENTRE FOR REMOTE SENSING*, 2003).

Os sensores são capazes de capturar informações na paisagem não perceptíveis aos humanos, uma vez que gravam a energia emitida ou refletida pelos corpos em diferentes comprimentos de onda, dentro do espectro eletromagnético.

Assim, as imagens de satélites de diferentes bandas ou freqüências do comprimento de onda e tipos de satélites, dentro do Sensoriamento Remoto, são os principais instrumentos utilizados nos mais diversos estudos (e.g. climáticos, hidrológicos – paisagísticos entre outros). O sensoriamento possibilita a melhor síntese global da paisagem registrada em forma digital, ou seja, as imagens representam o resultado combinado de todos os elementos constituintes da paisagem, facilitando os estudos e os tornando mais eficientes e rápidos (TRICART, 1979). A Figura 1 ilustra como procede o sistema de imageamento terrestre através de satélites.

Figura 1 – Sistema de imageamento em Sensoriamento Remoto.

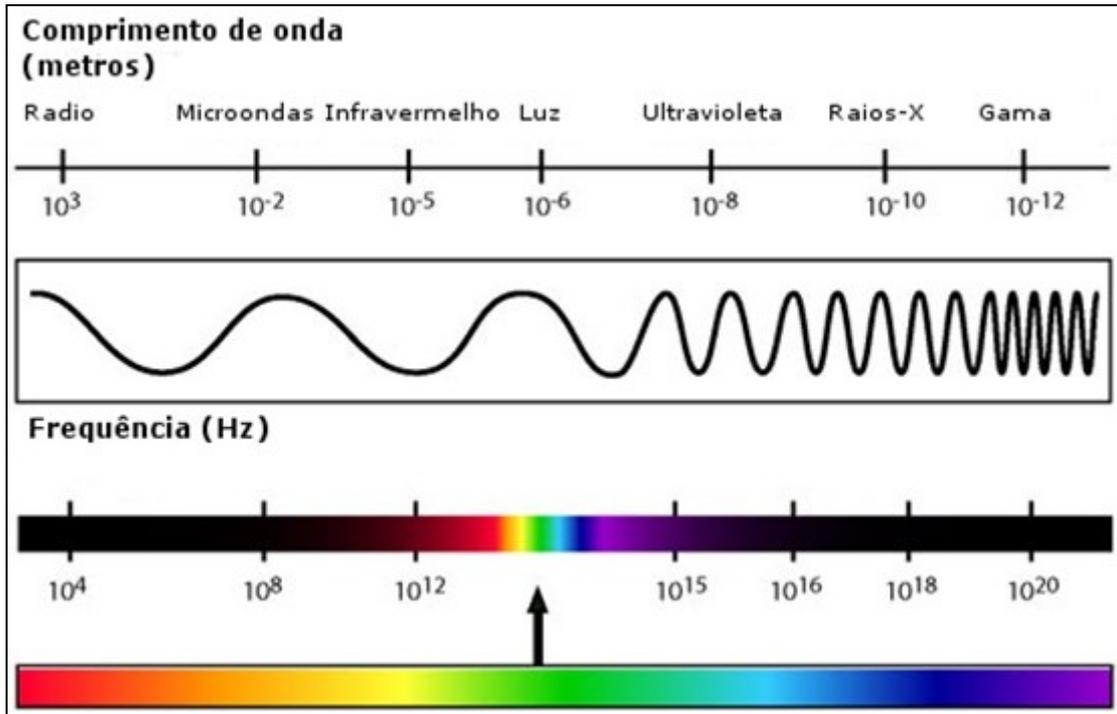


Fonte: Canada Centre for Remote Sensing (2003).

As etapas existentes na Figura 1 são explicadas abaixo (*Canada Centre for Remote Sensing, 2003*):

- Fonte de energia (A) – fornece energia aos alvos de interesse, em forma de radiação eletromagnética. A radiação comporta-se de forma previsível, viajando à velocidade da luz no vácuo. O comprimento de onda é uma característica relevante da radiação eletromagnética, pois é nele que há a medida da distância entre ondas sucessivas. Uma segunda característica relevante é a frequência, que refere-se ao número de ciclos de uma onda passando por um ponto fixo por unidade de tempo. O espectro eletromagnético varia dos comprimentos de onda mais curtos (raios gama e x) aos mais longos (microondas e ondas de rádio). Diferentes regiões do espectro são úteis ao Sensoriamento Remoto como, por exemplo, a região ultravioleta, cuja radiação faz com que alguns materiais da superfície terrestre (principalmente minerais e rochas) emitam energia quando iluminados por esta radiação. Já a região do espectro visível pode ser detectada pela visão humana (0.4 a 0.7  $\mu\text{m}$ ). O azul, verde e vermelho são as cores (ou comprimentos de onda) primárias, pois nenhuma delas pode ser criada a partir das outras duas, mas todas as outras cores podem ser criadas combinando-se azul, verde e vermelho. Outras regiões de interesse para o Sensoriamento Remoto são o infravermelho e o termal. As faixas do espectro eletromagnético podem ser visualizadas na Figura 2.

Figura 2 – Espectro eletromagnético.



Fonte: Canada Centre for Remote Sensing (2003).

- Radiação e atmosfera (B) – o trajeto da energia (origem: fonte ao destino: alvo), ocasiona o contato e a interação da mesma com elementos atmosféricos (e.g. gases e partículas), afetando a radiação através de mecanismos, tais como: espalhamento e absorção. O espalhamento origina o redirecionamento da radiação eletromagnética, conforme o comprimento de onda, a abundância de gases ou partículas e a distância percorrida pela radiação na atmosfera. Já a absorção, permite que as moléculas na atmosfera absorvam energia em diferentes comprimentos de onda.
- Interação da radiação com o alvo (C) – após cruzar a atmosfera, a radiação que não foi espalhada nem absorvida interage com alvos terrestres através de absorção (radiação absorvida pelo alvo), transmissão (radiação passa através do alvo) e/ou reflexão (radiação é refletida e redirecionada). A proporção de cada uma destas formas de interação depende do comprimento de onda e do material e condição do alvo. A reflexão, interação mais importante para o Sensoriamento Remoto, pode ser especular (superfície lisa, onde toda ou praticamente toda a energia é redirecionada numa única direção - “espelhada”) ou difusa (quando a superfície é rugosa e a energia é refletida quase uniformemente em todas as direções). A partir de medidas da energia refletida (ou emitida) por alvos terrestres em diferentes comprimentos de onda, pode-se

desenvolver respostas espectrais destes elementos, onde os padrões de resposta torna possível diferenciá-los.

- Gravação da energia pelo sensor (D) – a radiação eletromagnética refletida ou emitida pelos alvos é coletada e gravada pelos sensores. Neste processo, são fundamentais quatro resoluções: espacial, espectral, radiométrica e temporal. A resolução espacial é responsável pelo nível de detalhe que pode ser abstraído numa imagem, ou seja, se um sensor possui resolução de 30 metros, então cada pixel representa uma área de 30m x 30m. A resolução espectral sinaliza a capacidade que o sensor tem em definir pequenos intervalos de comprimento de onda, pois quanto mais fina a resolução espectral, mais estreita a faixa de comprimento de onda de uma determinada banda. Já a resolução radiométrica, determina que quanto mais fina a resolução radiométrica de um sensor, mais sensível este é para detectar pequenas variações na radiação emitida ou refletida (níveis de cinza). Quanto a resolução temporal, esta determina o tempo que será investido para o sensor visitar um dado alvo (tempo utilizado para um satélite completar um ciclo de órbita), que por exemplo, poderá demorar 18 dias. Assim, se um sensor pode obter a imagem de determinada área a cada 18 dias, então infere-se que a resolução temporal deste é de 18 dias.
- Transmissão, recepção e processamento (E) – a energia capturada pelo sensor deve ser transmitida para posterior processamento. A transmissão de dados pode ser realizada imediatamente à Terra para Estações de Recepção em Solo, ou então posteriormente transmitidas após captura dos dados a bordo do satélite. Uma terceira opção seria a transmissão de dados entre uma série de satélites, objetivando que estes cheguem à estação de recepção apropriada. Os dados digitais (brutos) recebidos devem ser processados para a correção de distorções atmosféricas, geométricas e sistemáticas, visando a sua tradução em um formato padrão, gravação em mídia apropriada e posterior fornecimento de imagens.
- Interpretação e análise (F) – a imagem é visualizada e interpretada, visando a identificação, medição e obtenção de informações a respeito dos alvos. A observação destes alvos e seus cenários envolve a avaliação de tons, formas, estruturas, tamanhos, padrões, arranjos espaciais, textura e sombra destes elementos, bem como suas associações e variações. Neste ponto geralmente é realizada a análise de várias bandas com diferentes datas, além de se utilizar da segmentação, classificação e processos de integração de dados.

- Aplicação (G) – o resultado final do processo de Sensoriamento Remoto é alcançado quando a informação absorvida é aplicada para a melhor compreensão de alvos e cenários, a fim de se obter informações inéditas ou de poder auxiliar os mais diferentes domínios na solução de um problema em particular (e.g. vigilância territorial, levantamento de desflorestamento, previsão de safra agrícola, detecção de manchas de óleo no mar e planejamento urbano, dentre outros) (*Canada Centre for Remote Sensing*, 2003).

Essa energia refletida e emitida forma a base de dados para todo o processo de identificação, permitindo quantificar a energia espectral refletida e/ou emitida por estes objetos, identificando suas principais características. Isto é possível a partir de interações entre ela e os objetos, facilitando identificar parâmetros que levem à detecção das características de quantidade e qualidade da mesma. As interações são determinadas pelas propriedades físico-químicas e biológicas dos objetos que recebem a radiação incidente e podem ser identificadas nas imagens e nos dados de sensores remotos que são provenientes deste sistema de imageamento. Segundo Moraes (2002), os sensores remotos são ferramentas indispensáveis para a realização de monitoramento dos recursos naturais.

O uso do Sensoriamento Remoto não é totalmente válido e eficaz, senão quando inserido no conjunto de conhecimentos do especialista no domínio sobre a dinâmica da paisagem observada por ele. A unidade desses conhecimentos com a visualização de imagens de satélites em diferentes bandas e em diferentes composições coloridas sugere tirar conclusões bem precisas a respeito da paisagem real, pois cada canal ou composição colorida realça determinados elementos da paisagem, tais como: corpos líquidos, vegetação, plantações agrícolas, solos etc.

Neste contexto, destaca-se que o uso do Sensoriamento Remoto é uma ferramenta a mais, não dispensando métodos tradicionais (e.g. trabalhos de campo), pois os trabalhos de investigação no campo são indispensáveis após o tratamento das imagens digitais. Além disso, é necessária uma boa base teórica, tanto a respeito do comportamento dos alvos e a resposta emitida por eles no processo de registro de informações digitais, quanto do comportamento da paisagem como entidade resultante da integração de elementos (DIAS, 1999).

Assim, observa-se que uma imagem de Sensoriamento Remoto é a representação de um objeto ou fenômeno, na qual a mesma produz estímulo visual que caracteriza a cena

original. Diante disto, a interpretação visual de imagens torna-se uma abordagem indispensável na busca de capturar informações que estão inerentes a elas.

Pesquisadores, biólogos, cartógrafos, ecólogos, gestores ambientais e outros profissionais, a partir de técnicas e de acúmulo de conhecimento em determinadas regiões, áreas de atuação ou padrões de paisagem, podem interpretar visualmente uma imagem identificando e delimitando os elementos e relacionamentos encontrados na mesma. A interpretação visual da imagem é dependente e intensamente influenciada pela percepção, capacidade discriminativa e senso crítico e qualitativo de cada observador (SILVA, 2006).

## 2.2 ECOLOGIA DA PAISAGEM E MÉTRICAS DA PAISAGEM

Antes de discutir sobre métricas da paisagem, deve-se expor conceitos que levem o leitor a compreender melhor a ecologia da paisagem com foco na integração espacial da mesma, ou seja, a ecologia espacial da paisagem e as consequências da estrutura espacial. Conseqüentemente discorre-se sobre métricas da paisagem, facilitando o entendimento do que foi desenvolvido neste trabalho. Assim, é necessário absorver esse arcabouço teórico que encontra-se inerente aos conceitos envoltos a ecologia da paisagem, especificamente, a abordagem ecológica que corresponde as relações entre padrões espaciais (estrutura da paisagem) aos processos ecológicos (populações, comunidades e fluxos) (METZGER, 2001).

A ecologia da paisagem por meio de alguns autores possui diferentes conceitos. Segundo Wiens (2005), ela é definida como uma ecologia espacialmente explícita que observa e estuda a estrutura e a dinâmica de mosaicos heterogêneos e suas causas, efeitos e consequências ecológicas.

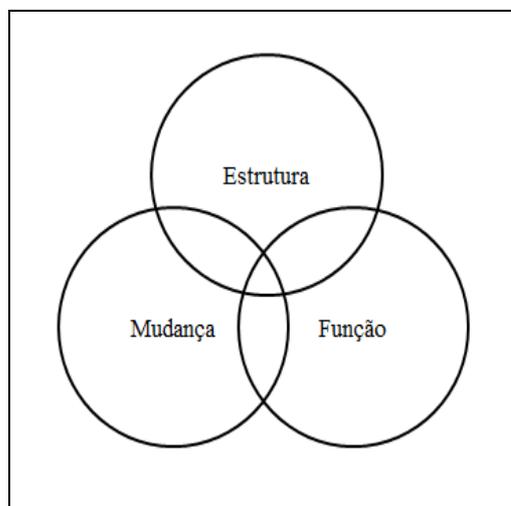
Já segundo Metzger (2001), a ecologia da paisagem é uma ciência em crescimento com conceitos e definições distintas e por vezes conflitantes, que dificultam a concepção de uma definição comum da mesma. É considerada uma ciência recente, que se utiliza de geotecnologias em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informação Geográfica, realizando a obtenção de dados no nível orbital através de sistemas sensores inseridos em satélites artificiais, permitindo a obtenção de informações, bem como um monitoramento mais qualitativo dos recursos naturais (e.g. topografia, solos, dinâmica hidrogeomorfológica) para maiores áreas da superfície terrestre (PIVELLO; METZGER, 2007).

Segundo Turner et al. (1989) uma variedade de questões ecológicas podem ser levantadas sobre uma dada paisagem, assim pode-se realizar o estudo de uma determinada região, por exemplo, o semiárido nordestino brasileiro.

Ao se definir paisagem busca-se estudá-la focando em uma determinada área, pela qual a mesma contém um mosaico de fragmentos ou elementos da paisagem que interagem e são importantes para o fenômeno que está sendo pesquisado. O padrão extraído no mosaico encontra-se diretamente relacionado com a extensão da área explorada e o pixel que contém o tamanho das unidades a serem individualmente observadas (FORMAN; GODRON, 1986, TURNER et al., 1989, WIENS, 1989).

Assim, a ecologia da paisagem busca relacionar o estudo e emissão de padrões espaciais da paisagem com a interação entre os fragmentos que encontram-se no interior do mosaico da paisagem, como também busca detectar a forma como os padrões e as interações são alterados ao decorrer do tempo, levando em consideração a heterogeneidade da dinâmica espacial e os efeitos da mesma nos processos ecológicos. A Figura 3 ilustra o esquema de como a ecologia da paisagem pode ser analisada e investigada a partir de três características da paisagem (FORMAN; GODRON, 1986):

Figura 3 – Representação das características espaciais na paisagem.



Fonte: Forman e Godron (1986).

Então essas características podem ser (FORMAN; GODRON, 1986):

- Estrutura: corresponde à relação espacial entre os elementos presentes na paisagem, especificamente à dimensão, forma, número, tipo e configuração dos ecossistemas;

- Função: corresponde à interação entre os elementos espaciais, especificamente aos fluxos de energia, materiais e espécies entre os ecossistemas que a constituem;
- Mudança: corresponde à alteração na estrutura e função do mosaico ecológico ao longo do tempo.

Mediante tais características, pode-se atestar que a ecologia da paisagem relaciona-se com o fato de que os padrões espaciais de uma dada paisagem influenciam diretamente nos processos ecológicos. Diante disto, surge a necessidade de quantificar a estrutura da paisagem, utilizando-se das características de função e mudança da mesma. Por esta necessidade muito se tem investido em desenvolver métodos que quantifiquem a estrutura da paisagem (O'NEILL et al., 1988; TURNER, 1990; TURNER; GARDNER, 1991).

A estrutura da paisagem representa métricas em uma forma ecologicamente significativa para o fenômeno em consideração, buscando responder algumas questões, tais como: será que uma determinada métrica consegue representar a composição da paisagem, sua configuração ou até mesmo ambas? Que aspecto da configuração determinada métrica representa? A fim de responder esses questionamentos ao analisar uma paisagem, necessário se faz saber sobre a quantificação da estrutura da paisagem.

A quantificação da estrutura da paisagem está diretamente ligada à medição (cálculo) do mosaico que está implícito na paisagem e inerente a um determinado contexto de avaliação da estrutura espacial da paisagem. O principal intuito a ser medido em uma paisagem é sua estrutura e complexidade. Para isto, deve-se utilizar os índices da paisagem (métricas da paisagem) que tem por base a análise da distribuição, forma e arranjo espacial dos fragmentos e a escala da paisagem como um todo (calcula-se as interações entre as diferentes classes de fragmentos).

Nesta pesquisa, a análise foi efetuada utilizando a escala da paisagem como um todo e classe a classe, observando os fatores que mais são encontrados na estrutura de um manancial (fontes de água: superficiais ou subterrâneas). Esta análise pode ser efetuada com base em duas abordagens distintas: composição da paisagem e configuração da paisagem que separadamente ou em conjunto afetam diretamente os processos ecológicos e a dinâmica da paisagem (FARINA, 2000).

Assim, sabe-se que na literatura tem surgido uma vasta quantidade de métricas que buscam descrever o padrão da paisagem (e.g. área, forma, contágio, contraste e diversidade), no entanto só existem duas componentes para isto: a composição e a configuração. A composição corresponde a variedade e quantidade de elementos em uma paisagem, seja qual

for a colocação ou localização dos mesmos em um determinado mosaico. Já a configuração corresponde a distribuição física ou as características espaciais dos mais variados elementos que formam a paisagem. Estes dois aspectos ocorrendo separadamente ou em conjunto podem vir afetar os processos ecológicos (DUNNING et al., 1992).

Sabendo-se disso, atualmente a perspectiva mais recente adotada pela literatura em ecologia da paisagem é que esta ciência está diretamente relacionada a dois fatores: a influência de padrões espaciais sobre processos ecológicos e ao reconhecimento da influência da escala nos estudos ecológicos. Assim, a ênfase primordial da análise em ecologia da paisagem é detectar a dependência espacial entre as unidades da paisagem, sabendo que o funcionamento de uma unidade depende das interações que ela tem com as unidades vizinhas. Então, a ecologia da paisagem associa uma análise espacial da geografia com um estudo funcional da ecologia. O principal problema é o efeito ocasionado pela estrutura da paisagem (e.g. o padrão espacial) nos processos ecológicos (METZGER, 2001).

Métrica da paisagem é um assunto atual e relevante no nicho de pesquisas da ecologia da paisagem moderna. No entanto, o número de artigos e revistas científicas internacionais publicados neste campo particular de alta qualidade tem decrescido desde 2005. Isto é decorrente da percepção dos pesquisadores e profissionais da área começarem a usar métricas padrão, ou seja, eles passaram a utilizar as que são mais frequentemente aplicadas para uma dada realidade, utilizando apenas as métricas mais direcionadas para uma determinada relação entre padrões e processos. Para tanto, novos parâmetros estão sendo desenvolvidos, a fim de que as métricas da paisagem possam auxiliar de fato na determinação do padrão de relações entre a paisagem e o processo (PIVELLO; METZGER, 2007).

Segundo Carrão (2002), as métricas da paisagem são medidas quantitativas da composição da paisagem. Elas permitem, dentro de um determinado contexto de avaliação e classificação, através de indicadores de natureza numérica, determinar componentes de um contexto multidimensional associado ao conceito do que é uma paisagem ao nível de ecologia da paisagem.

As métricas de paisagem estão englobadas em duas categorias: as de quantificação da composição do mapa (ignora-se a referência aos atributos espaciais) e as de quantificação da configuração espacial do mapa (exige-se a informação espacial para que sejam feitos os seus cálculos) (McGARIGAL; MARKS, 2002; GUSTAFSON, 1998).

A composição realiza a quantificação da paisagem a partir das características que são relacionadas com a variedade e número de tipos de fragmentos que estão inerentes ao interior da paisagem, observando o grau de integração em relação a todos os tipos de fragmentos

dessa paisagem (GUSTAFSON, 1998). Já a configuração espacial busca determinar a descrição das características espaciais de fragmentos individuais ou as relações espaciais entre os mais diversos fragmentos. Ela também tem o intuito de avaliar as propriedades de vizinhança (sem referência aos fragmentos), utilizando somente a representação do pixel. As características de fragmentos de uma paisagem são apoiadas pela estatística que pode ser retirada e aplicada à mesma (e.g. média, mediana, variância e distribuição da frequência) para todos os fragmentos da classe (CARRÃO, 2002).

Em vista de realizar a quantificação de uma paisagem através da utilização de métricas da paisagem, o autor McGarigal (2002) discutiu em seu trabalho *Landscape pattern metrics* que as mesmas estão inerentes a três níveis de métricas (fragmentos, classe e paisagem). O nível de fragmento corresponde aos fragmentos individuais e caracterizam a configuração e o contexto dos fragmentos; o nível de classe corresponde a todos os fragmentos de um dado tipo de classe; o nível de paisagem corresponde a todos os tipos de fragmentos ou classes em toda paisagem.

Assim, as métricas da paisagem enfatizam a distribuição espacial dos fragmentos. Os fragmentos individuais possuem poucas características espaciais (e.g. área, perímetro, altura e forma), já o conjunto de fragmentos têm várias propriedades agregadas que dependem se a agregação é em relação a uma só classe (tipo de fragmento) ou várias classes e também observa se a agregação é no interior de uma região ou de uma sub-região de uma dada paisagem ou ao longo dela (COUTO, 2004).

## 2.3 FRAGSTATS

O software Fragstats foi desenvolvido por McGARIGAL; MARKS (2002). O programa tem suporte a arquivos-texto em ASCII que possuem estatísticas ecológicas e como saída um arquivo raster. Sua versão corrente é a 3.3 que foi desenvolvida em 2002. A implementação é em linguagem de programação C.

O Fragstats é um software de domínio público que calcula a estrutura da paisagem, ele foi criado para quantificar as extensões e as distribuições espaciais dos fragmentos (e.g. polígonos) dos objetos espaciais no interior de uma imagem raster. É um programa de estatísticas espaciais direcionado para realizar a quantificação da composição, configuração e conectividade em uma paisagem que encontra-se representada em imagens digitais. Para

tanto, o Fragstats trabalha com uma imagem classificada, realizando pesquisas na mesma, a fim de buscar fragmentos contíguos de cada tipo e depois calcular um conjunto de valores de paisagem e índices (individual, cada tipo de classe e toda paisagem) a partir dos fragmentos encontrados (VOLOTÃO, 1998).

Para tanto, este software possui um conjunto de cerca 50 métricas da paisagem em sua versão gratuita e na versão comercial possui um conjunto de cerca de 100 métricas. Essas métricas são baseadas na fragmentação de um raster. Elas são definidas como algoritmos que quantificam características espaciais específicas de fragmentos (classes ou toda paisagem). As métricas são encontradas em duas categorias: as que quantificam a composição do mapa (ignorando os atributos espaciais), ou as que quantificam a configuração espacial do mapa (exigem informação espacial para os seus cálculos) (McGARIGAL; MARKS, 2002; GUSTAFSON, 1998).

O Fragstats realiza uma análise espacial e explora as relações e propriedades dos dados espaciais, levando-se em consideração a localização espacial do fenômeno em observação, a fim de certificar todas as medidas estatísticas que envolvem e detectam um determinado grau de complexidade (McGARIGAL, 2002).

A complexidade dos cenários e das relações espaciais acarretam em um grande desafio para a elaboração de modelos que buscam a identificação e representação dos elementos do sistema, das relações e dos processos. Assim, a modelagem geográfica percebe o envolvimento e formulação de um ambiente para representação do conhecimento espacial, buscando ser formalizada como um método de procura de regularidades e padrões, possibilitando uma visão sobre a paisagem que alcance explicações e previsões sobre a mesma (NEVES et al., 2006).

Diante disto, sabe-se que o Fragstats analisa padrões espaciais em mapas categóricos e para utilizá-lo o usuário deve definir o tipo de paisagem a ser analisada e qual o fenômeno espacial irá ser observado. O objetivo é melhorar a compreensão de como as paisagens são estruturadas fisicamente/biologicamente e perceber, elaborar e responder algumas questões como: Quais os agentes responsáveis pelos padrões? Como esses padrões afetam a distribuição e a dinâmica da paisagem? Como foram originados os padrões e os processos de mudança ao longo do tempo? Como aplicar essas informações para melhor gerir os recursos naturais ao longo de múltiplas escalas espaciais e temporais?

Assim, a ideia é que o Fragstats seja um recurso computacional que possibilite um auxílio à composição e configuração espacial dos fragmentos no interior da paisagem. O objetivo é que a partir da quantificação, alguns resultados auxiliem no êxito à gestão de

recursos naturais com informações que permitam ao profissional ser um melhor administrador de ecossistemas saudáveis e sustentáveis (McGARIGAL, 2002).

## 2.4 MINERAÇÃO DE DADOS GEOGRÁFICOS

De acordo com Miller (2001), dados geográficos podem ser definidos como aqueles que dizem respeito às localizações ou partes de uma divisão territorial e são suportados por um Sistema de Informação Geográfica (SIG) que permite visualizar, processar e analisar esses dados geográficos, facilitando tomadas de decisões de natureza crítica, exigindo assim uma contínua necessidade em obter resultados precisos e significativos. Eles podem ser de três tipos: não-espaciais (e.g. nome e tipo da variável); espaciais (georeferenciamento associado às propriedades geométricas e topológicas) e temporais (identificando o tempo para o qual tais dados foram coletados e sua validade).

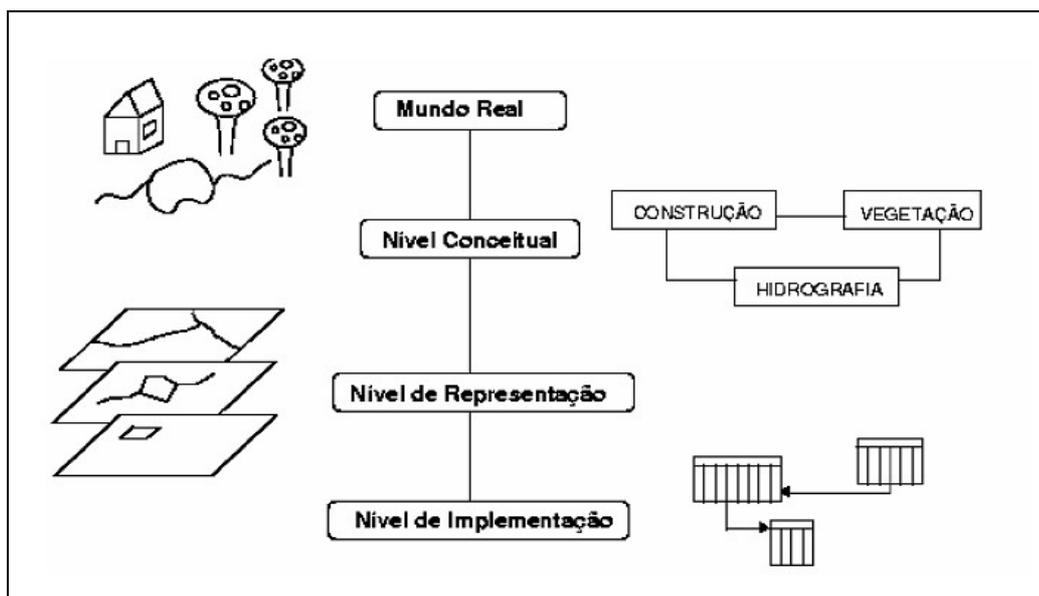
Os Bancos de Dados Geográficos (BDG's) são constituídos por uma coleção de dados georreferenciados, ou seja, eles armazenam os dados com seus respectivos relacionamentos e posições geográficas. Tais bancos são suportados pelos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) (CÂMARA, 2001). Os BDG's fornecem um conjunto de ferramentas para executar consultas e realizam o manuseio dos dados que estão armazenados e organizados em estruturas especiais capazes de guardar informações que dizem respeito à ocorrência espaço-temporal de diversos fenômenos.

Sabe-se que os BDG's são banco de dados que possuem modelos que podem variar de acordo com o nível de abstração. Estes níveis são utilizados nas aplicações geográficas e possuem abstrações para representar objetos (pontos, retas, polígonos e etc.) e funções geométricas (distância, área, perímetro, intersecção entre objetos etc.) que são específicos para a manipulação de dados geográficos.

A modelagem dos BDG's enfatiza os elementos essenciais da realidade observada, descartando os elementos não essenciais. A modelagem do mundo real consiste em abstrair, generalizar e selecionar fenômenos e entidades de interesse. Já a modelagem de dados é feita durante a fase de levantamento dos dados de uma determinada aplicação geográfica e introduz uma visão geral da realidade, ilustrando todos os fatores e relacionamentos envolvidos entre eles (LISBOA FILHO, 2000); (CÂMARA; MONTEIRO, 2001).

Assim, os níveis de especificação de aplicações geográficas e as etapas de projeto de banco de dados (conceitual, lógico e físico) leva a compreender que cada etapa do projeto de um banco de dados geográfico é mais complexa que as respectivas etapas do projeto de um banco de dados convencional (LISBOA FILHO, 1997). A figura 4 ilustra estes diferentes níveis de aplicação em BDG:

Figura 4 – Diferentes níveis de aplicação em BDG.



Fonte: Câmara (2001).

Observa-se que é necessário construir uma abstração dos objetos e fenômenos do mundo real, de modo a obter uma forma de representação conveniente, embora simplificada, que seja adequada às finalidades das aplicações do banco de dados (CÂMARA, 2001). Logo, os BDG's possuem os modelos formais do geo-campos e do geo-objetos para entidades geográficas no espaço absoluto.

Diante deste contexto, sabe-se que no modelo do geo-campos; o espaço geográfico é visto como uma superfície contínua sobre a qual variam os fenômenos a serem observados, por exemplo, um mapa de vegetação que associa a cada ponto do mapa um tipo específico de cobertura vegetal. Já o geo-objetos representa o espaço geográfico como uma coleção de entidades distintas e identificáveis que são definidas a partir de uma fronteira fechada, por exemplo, um cadastro urbano identifica cada lote como um dado individual e possui atributos que o distinguem dos demais (CÂMARA, 2005).

Para utilizar os BDG's é importante saber sobre algumas vantagens e desvantagens desses bancos. Uma vantagem seria o controle da integridade dos dados sendo realizado

dentro do banco que possibilita aplicações com maior complexidade e sem grandes perdas de desempenho. Já a existência de extensões especiais possibilita modelos mais adequados com semântica mais próxima a dos dados geográficos, além de facilitar a realização de consultas e atualizações utilizando-se de funções geométricas específicas. Uma desvantagem seria o alto custo e o fato de não haver uma padronização como ocorre com os bancos relacionais (BORGES, 2005).

Diante deste contexto, a mineração de dados geográficos se refere ao processo de extração de padrões ou de regularidades espaciais nos dados, ela também verifica os relacionamentos existentes entre esses dados espaciais e os dados não-espaciais que são de natureza bruta e complexa (MILLER, 2001).

A Descoberta de Conhecimento em Banco de Dados Geográficos (DCBDG) do inglês *Geographic Knowledge Discovery* (GKD) é definida como um processo de extração de informações e conhecimentos a partir de uma grande massa de dados georreferenciados, que busca obter informações geográficas úteis aos especialistas no domínio, descobrindo ou assegurando padrões de uma dada realidade, (e.g. epidemiologia espacial, análise da criminalidade, ecologia da paisagem) dentre outros, propiciando o desenvolvimento de uma base de conhecimento espacial (MILLER, 2009); (HAN, 1997).

No entanto, os padrões identificados buscam constituir uma fonte que oferece novos conhecimentos aplicáveis ao suporte à decisão. Estes padrões devem ser interessantes, úteis e compreensíveis ao potencial gestor, que neste trabalho concentra-se no domínio de mananciais.

Leva-se em consideração o potencial da pesquisa que pode favorecer o aumento e a eficiência na mineração de dados a partir da captura das áreas por meio de imagens de Sensoriamento Remoto. Este esforço tem o propósito de auxiliar nas tomadas de decisões à sustentabilidade hídrica no Semiárido potiguar, visto que alguns segmentos de pesquisa da UFERSA – Universidade Federal Rural do Semiárido contemplam estudos com recursos hídricos.

Assim, a mineração de dados oferece um conjunto de regras úteis e compreensíveis, capazes de caracterizar os mananciais. Logo, o ambiente físico não se constitui no único fator para classificar um manancial, pois para tornar a classificação efetiva, devem ser acrescentadas informações da região. A utilização das regras propostas permite que a classificação de um manancial possa ser realizada de forma mais rápida, menos subjetiva e mantendo um padrão pelo qual podem ser detectadas informações estratégicas do Rio Apodi/Mossoró no Estado do Rio Grande do Norte.

Diante deste contexto, sabe-se que a área de atuação em mineração de dados para águas superficiais (rios) concentra sua relevância em buscar informações estratégicas decorrentes da análise dos dados em um determinado manancial. Para tanto, tal realidade propõe que a computação possibilite suporte por meio de técnicas e ferramentas de manipulação de dados, dentre elas, etapas do processo de descoberta de conhecimento em base de dados.

Assim, algumas técnicas como classificação espacial, associação espacial e predição espacial utilizam esses padrões. A classificação espacial generaliza essa ideia para um algoritmo de aprendizado considerando relacionamentos espaciais definidos (e.g. caminhos entre os objetos em uma vizinhança conhecida); a associação espacial contém regras de associação espacial e apontam predicados espaciais e a predição espacial utiliza algoritmos de aprendizagem para extrair informações de mapas topográficos de propósito geral, por exemplo, os produzidos por organizações nacionais que usam cartografia (ESTER et al., 2001); (MALERBA, 2001).

Além de se aplicar essas técnicas para poder realizar a mineração de dados, é interessante que se utilize ferramentas que possam dar suporte à necessidade de se manipular grandes bases de dados, pois a capacidade de extrair dados relevantes mesmo com objetivos muito específicos, torna-se cada vez mais complexa.

Existem várias ferramentas para realizar mineração de dados em bancos de dados relacionais; por exemplo, *Intelligent Data Miner* da IBM, *MineSet* da *SiliconGraphics* e a *Clementine* da SPSS Software. No entanto, os modelos de análise usados em mineração de dados convencionais precisam ser modificados ou adaptados para levar em consideração os diferentes estilos e necessidades de análise e modelagem relevantes para o mundo do SIG. Entretanto, deve-se considerar algumas características ao analisar dados geográficos (Miller, 2001):

- Incerteza dos dados aliada ao fato dos erros serem frequentemente de natureza espacial;
- Os relacionamentos estão frequentemente associados a uma posição geográfica específica e não global;
- Há o alto-nível de multi-variedade nos dados associada à redundância;
- O elemento localização é importante.

Diante de tais características, sabe-se que as ferramentas possuem uma integração de algoritmos de mineração de dados com ferramentas de apoio às aplicações geográficas. A

biblioteca TerraLib de propriedade do INPE, mostra-se uma ótima opção, pois é um software de código aberto e de distribuição livre, além de ser nacional. Acredita-se que esta fusão de tecnologias são úteis à tomada de decisão baseada em SIG (GUIDINI, 2006).

Assim, para esta pesquisa deve-se considerar que as ferramentas que suportam aplicações em Descoberta de Conhecimento Geográfico tem tido investimentos em pesquisas de tecnologias avançadas para a captura de padrões geográficos. Cita-se como exemplos: o *GeoMiner* que é o primeiro sistema que trabalha com extração e avaliação de Regras de Associação Geográficas; o *Geographical Online Analytical Processing Architecture* (GOLAPA) que é um framework web de manipulação de informações geográficas multidimensionais para a tomada de decisão e o Weka-GDPM – extensão da API Weka para manipulação de dados geográficos que realiza a interoperabilidade de dados através de padrões *Open Geospatial Consortium* (OGC) e implementa algumas operações espaciais como interseção, distância e cruzamento (HAN et al., 1997), (SILVA et al., 2006), (BOGORNY et al., 2006). Para tanto, a sessão subsequente detalha a ferramenta GeoDMA, específica a este trabalho.

## 2.5 GEOGRAPHICAL DATA MINING ANALYST

Antes de realmente discorrer sobre o GeoDMA, deve-se levar em consideração o seguinte panorama tecnológico que envolve o estudo de mapas e dados espaciais. Segundo Dias (1999), mediante ao acelerado desenvolvimento tecnológico no campo da informática (softwares e hardwares) e otimização (redução do tempo de processamento) da manipulação de dados (não-espaciais e espaciais), várias ciências (e.g. Ecologia, Gestão ambiental, Agronomia, Engenharia de minas) tem utilizado ferramentas específicas à aquisição, armazenamento, manipulação, análise e apresentação de dados espaciais, a fim de que seja dado o devido suporte ao sistema de imageamento sobre a superfície terrestre.

O objetivo é que essas ferramentas, ao extraírem as informações, auxiliem às gestões diretivas aos recursos naturais, tornando-se instrumentos poderosos à gestão do espaço e permitindo o monitoramento da dinâmica dos fenômenos ao longo do tempo e do espaço, levando-se em consideração que os mapas convencionais (caráter estático), vem perdendo a relevância nos estudos da gestão territorial.

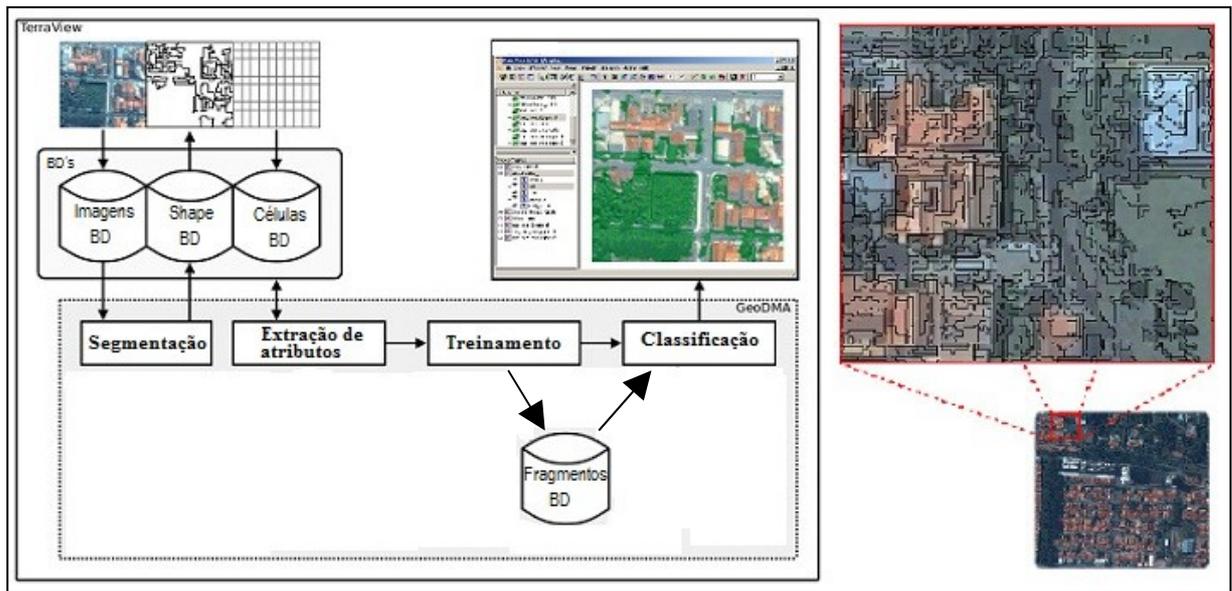
Assim, há a necessidade do uso da ferramenta SIG que ao integrar os dados capturados por sensores remotos e outros tipos de dados (e.g. laboratório, campo, mapas) permite a exploração das informações e aplicação das mesmas nos mais variados campos relacionados às ciências naturais/ambientais.

A apropriação desses dados através do uso do Sensoriamento Remoto pode ser de forma rápida, confiável e repetitiva, em diferentes faixas espectrais e escalas. Além disso, estes dados em conjunto com o SIG possibilita a relação das informações, tornando estas duas tecnologias complementares, facilitando as tomadas de decisões por permitir a simulação dos efeitos de determinadas ações no espaço (DIAS, 1999).

Mediante estas demandas, esta pesquisa utilizou-se do GeoDMA, que é um plugin que está no SIG TerraView. O GeoDMA é um software livre com código aberto e está em desenvolvimento por Korting et al. (2008) na Divisão de Processamento de Imagens (DPI) do INPE. É um sistema de mineração de dados que inclui diversas ferramentas para armazenamento, processamento, visualização e análise de dados temporais (SAITO, 2010).

O GeoDMA utiliza-se da biblioteca Terralib, esta contém processamento de imagens, é desenvolvida em linguagem C++ e possui interface GUI. Este software realiza análise de imagens de Sensoriamento Remoto com base em técnicas de mineração de dados, buscando identificar padrões que estão em bases de dados de informação geográfica. A sua performance é de segmentação, extração, normalização e classificação de atributos. A figura 5 ilustra o framework desse software com a segmentação da imagem.

Figura 5 – Framework do GeoDMA e segmentação da imagem.



Fonte: Adaptado de Korting et al. (2010).

Observa-se que a entrada do sistema é composta por dados de imagens, objetos resultantes da segmentação e grade celular. Neste sentido é possível integrar a informação espacial, contida nos segmentos, e a informação espectral proporcionando ao usuário uma vasta gama de atributos para serem utilizados na classificação e reconhecimento dos padrões presentes em seu banco de dados.

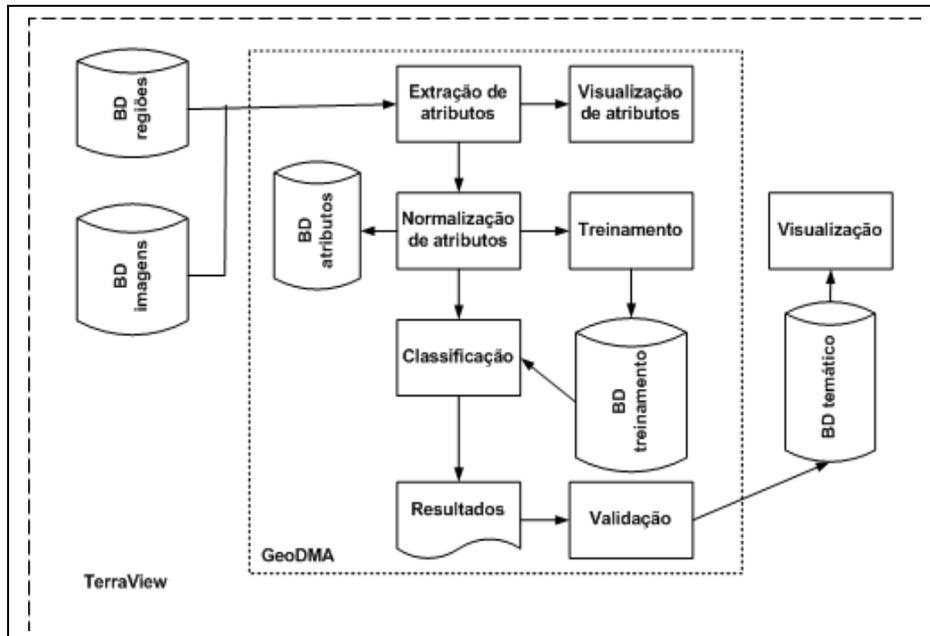
Assim, o GeoDMA realiza todas as fases de processamento necessárias para manipular dados de Sensoriamento Remoto, incluindo os processos de segmentação, extração e seleção de atributos, treinamento, classificação e análise exploratória dos dados. Para tanto necessita-se entender os módulos de processamento do sistema que são ilustrados na Figura 6 abaixo e descritos detalhadamente:

Os módulos são (KORTING et al., 2010):

- Extração de Atributos: este módulo realiza a extração de atributos, considerando imagens e objetos como entrada. Assim, características espectrais como a média por banda, variância de cada banda e textura são extraídas. Atributos espaciais incluem área, perímetro, dimensão fractal, grau de retangularidade e ângulo principal, que são calculados e armazenados nas tabelas de referência do sistema TerraView;
- Visualização dos atributos: dado o conjunto de atributos, o usuário possui uma ferramenta muito importante para realizar a análise exploratória, através da visualização do espaço de

atributos. Dois atributos são selecionados e um gráfico de dispersão mostra a separabilidade dos dados;

Figura 6 – Módulos do sistema GeoDMA.



Fonte: Korting et al. (2010).

- Normalização de atributos: o estágio de normalização é fundamental para a análise exploratória, visto que os dados possuem diferentes escalas, e que podem mascarar determinados atributos, e destacar outros, quando na verdade todos deveriam possuir a mesma proporção no início do processo de mineração de dados;
- Treinamento: Um conjunto de amostras de cada classe de interesse é selecionado para gerar o modelo de classificação. Na análise multitemporal pode-se trabalhar com um mesmo conjunto de amostras de treinamento para classificar toda a série temporal de dados;
- Classificação: dois algoritmos para classificação estão disponíveis na versão atual: o algoritmo supervisionado de árvore de decisão versão C4.5 (QUINLAN, 1993), e o algoritmo não-supervisionado de Mapas Auto-Organizáveis (SOM – Self Organizing Maps);
- Validação: no módulo de validação, o GeoDMA utiliza de combinações aleatórias de amostras de treinamento e amostras de teste. Segundo Fang et al. (2007), é recomendado que o número de amostras de teste e treinamento sejam iguais para que se reduza a variabilidade estatística, assim, o conjunto de amostras teste e treinamento

é dividido sendo selecionado amostras aleatoriamente. No final dessa etapa, o GeoDMA apresenta as árvores de decisão. A partir da distribuição dos valores, é possível determinar um intervalo de credibilidade onde são desprezados 2,5% dos valores maiores e menores, garantindo que 95% dos resultados estejam dentro de determinado intervalo (SAITO, 2010);

- Visualização: a interface do TerraView proporciona a visualização dos dados em uma estrutura onde a saída é dividida em diferentes classes, ou temas, de acordo com os resultados da classificação.

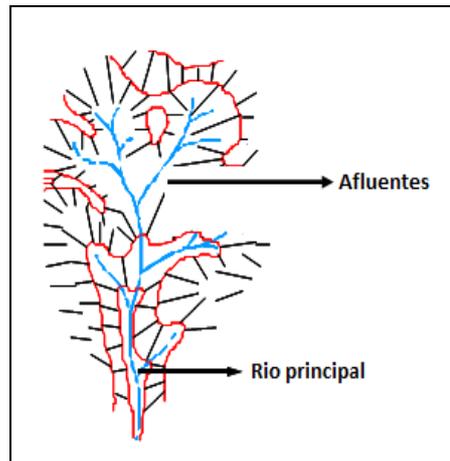
Finalmente, ao utilizar com êxito o GeoDMA, o usuário poderá usufruir de métodos de mineração de dados espaciais e espectrais, bem como de funcionalidades que proporcionem uma melhor análise geográfica à localidade minerada, pois algumas métricas da paisagem, utilizadas por Silva et al. (2008) foram implementadas, tais como: perímetro, área, shape, fractal, círculo e contiguidade. Na classificação por células, as métricas de fragmentos da paisagem utilizadas por Azeredo et al. (2008) foram implementadas. Essas métricas são agrupadas em: índices de fragmento/área, índices de borda, índices de tamanho e forma (MCGARIGAL et al., 1995). O GeoDMA usa os recursos do TerraView e armazena operações de mineração no banco de dados local. O sistema pode lidar com todos os tipos de aplicações espaciais, onde a entrada é descrita através de imagens e regiões (KORTING et al., 2008).

## 2.6 HIDROGRAFIA

Segundo o dicionário Aurélio, a Hidrografia é o ramo da geografia física que estuda as águas da superfície da Terra. Os hidrógrafos estudam as águas navegáveis (oceanos, rios e lagos), elaboram cartas e mapas que mostram a formação dos litorais, a profundidade das águas e a localização de canais, recifes, bancos de areia, rochas, correntes e marés e ventos (AURÉLIO, 2010).

A Hidrografia estuda as bacias hidrográficas que podem ser definidas como uma área que é topograficamente drenada por um rio principal e seus afluentes, de modo que a vazão em sua totalidade seja descarregada através de uma simples saída (LAGE, 2002). A figura 7 ilustra um modelo de bacia hidrográfica.

Figura 7 – Modelo de bacia hidrográfica.



Fonte: Rosim et al. (2003).

Na figura acima, observa-se que uma bacia hidrográfica é formada nas regiões mais altas do relevo por divisores de água, onde as águas das chuvas são escoadas superficialmente formando os riachos e rios (fluxos canalizados), ou infiltradas no solo para formação de nascentes e do lençol freático (BARRELLA, 2001).

Diante dessas premissas, considera-se nesta pesquisa o conceito formulado por Florenzano (2008) sobre a Ciência da Geomorfologia Fluvial, pois esta atrelada à Hidrologia da bacia hidrográfica consegue extrair a forma e o padrão do canal fluvial. Através dessa ciência indica-se o controle da vazão sólida e líquida em um dado segmento de rio, onde se é possível a partir da análise das formas do canal fluvial, deduzir os processos que lhes deram origem. Para tanto, necessário se faz utilizar tecnologias, como Sensoriamento Remoto que, irá proporcionar o conhecimento do canal fluvial a partir do uso dessa tecnologia com a Geomorfologia Fluvial.

Assim, deve-se utilizar dados de Sensoriamento Remoto (e.g. imagens digitais) e métodos de extração de informações relevantes (e.g. mineração de dados geográficos) ao avanço dessa ciência para que posteriormente estudos em mananciais através de Sensoriamento Remoto ocasionem a obtenção de uma grande quantidade de novos dados, a fim de se realizar um levantamento eficiente sobre um determinado manancial (MATOS, 2009).

Diante deste contexto, assume-se que o controle hidro-ambiental é relevante, pois a água compõe e, sobretudo, valoriza o meio ambiente. O gerenciamento de mananciais e todas as medidas de preservação e controle ambiental precisam estar intimamente ligados, sendo o

componente hídrico o grande elo de toda essa ligação. Algumas questões importantes ao desenvolvimento de um sistema de controle hidro-ambiental são (MALUCELLI, 2010):

- preservação de lagoas, mangues e estuários;
- monitoramento dos ecossistemas;
- erosão do solo e assoreamento dos açudes;
- proteção das zonas de recarga de aquíferos;
- lazer e turismo nas bacias hidráulicas dos açudes;
- lançamento de cargas poluidoras em rios intermitentes;
- contaminação de corpos d'água por aterros sanitários;
- superexploração de água subterrânea em centros urbanos litorâneos;
- contaminação dos aquíferos urbanos pelo uso indiscriminado de fossas sépticas.

Para se obter o objetivo supracitado é importante ter um entendimento da ciência da Geomorfologia Fluvial. Para tanto, o Sensoriamento Remoto, suas possibilidades, características e tecnologias disponíveis, torna possível extrair informações relevantes neste domínio.

## 2.7 CANAIS E PADRÕES FLUVIAIS

Algumas pesquisas se interessam pelo estudo dos canais fluviais, pois objetiva-se abordar discussões e soluções inerentes ao domínio do conhecimento sobre os rios. Estes são considerados cursos naturais de água doce, que escoam por canais definidos e possuem fluxos permanente ou sazonais, submergindo topograficamente o ponto mais profundo de um vale, o rio corre em direção a um outro rio, lago ou oceano. Eles possuem uma alta capacidade de erosão, transporte e deposição, o que lhes conferem o papel de principal agente de transformação da paisagem, interferindo permanentemente no modelado terrestre (ZANCOPÉ, 2004).

No entanto, ao iniciar esta pesquisa, um forte questionamento foi conferido: Para que a extração de padrões de canal fluvial é relevante? A resposta para isso é que a partir do padrão do canal fluvial é possível conhecer as diversas dinâmicas que um rio pode ter. Para isto, a

identificação e a caracterização dos padrões de canal são possíveis a partir do momento em que se consegue identificar os parâmetros do mesmo, tais como: largura da planície fluvial, índice de sinuosidade, morfologia do canal, relevo das planícies, largura do canal, profundidade do canal, vazão e velocidade do fluxo. Para o Rio Apodi/Mossoró, a partir do uso da mineração de dados serão investigados os padrões: retilíneo, meândrico (ou meandrante) e tortuoso (ou irregular).

Logo, sabe-se que um canal fluvial é definido como um sistema aberto, nele o fluxo de energia e matéria é afetado pela alteração no gradiente do canal, oscilando a energia de drenagem, o tipo e velocidade do fluxo, modificando as condições de transporte da carga detrítica. Diante deste contexto, originam-se os padrões de canais fluviais, por exemplo, o canal meândrico que, a partir do princípio do mínimo esforço sobre o rio inicia um serpenteamento do leito, depositando parte da carga no lado convexo da curva meândrica e erode o lado côncavo, de modo que a carga passa a reter a quantidade, tipo e tamanho dos detritos que chegam de montante e originam as planícies fluviais, modelando suas formas (ZANCOPE, 2004).

Assim, a análise do segmento fluvial indica que o canal possui segmentos com diferentes padrões. Ele deve ser investigado desde a parte superior do rio até a sua parte inferior, a fim de se identificar as características dos canais do manancial. Tal situação indica que todo o segmento está em processo de ajuste fluvial, desencadeado um provável aumento da quantidade de sedimentos arenosos no rio (SILVA et al., 2008).

Segundo Florenzano (2008), os padrões de canais fluviais refletem o ajustamento do rio ao tipo, tamanho e volume da carga sedimentar por ele transportada para uma dada resistência de seu substrato e para uma dada vazão. Então, a simples análise do padrão dos canais fluviais permite inferir muitas características do ambiente e dos processos que neles atuam, pois a regulação destes processos fluviais modifica constantemente o modelado terrestre. A co-existência de características de padrões distintos de canal fluvial indica que o sistema está em processo de ajuste, visto que o tempo transcorrido a partir do interrompimento do equilíbrio inicial não é suficiente para que haja novas condições sobre o rio (SILVA et al., 2008).

As características morfométricas que formam um dos procedimentos mais comuns aplicado em análises hidrológicas ou ambientais tem como objetivo esclarecer as várias questões relacionadas com o entendimento da dinâmica ambiental local e/ou regional de um rio (TEODORO et al., 2007), pois segundo Antonelli; Thomaz (2007) a combinação dos diversos dados morfométricos permite a diferenciação de áreas homogêneas, haja vista que

estes parâmetros podem revelar indicadores físicos específicos para um determinado local, de forma a qualificarem as alterações ambientais.

Então, a questão central para a conferência de padrões de canal fluvial seria o controle dos mesmos a partir de uma inter-relação de variáveis, tal inter-relação varia de modo contínuo na natureza, tanto do ponto de vista espacial quanto do ponto de vista temporal, buscando-se encontrar uma complexa variedade de padrões de canais fluviais (ZANCOPE, 2004).

Christofoleti (1981) identifica as variáveis de um sistema de canal fluvial em: independentes (litologia e distribuição dos afloramentos rochosos e dos solos), semidependentes (aquelas que afetam o próprio canal – forma e tipo do canal e são influenciadas pela dinâmica e mecanismos dos processos fluviais) e dependentes (sob o controle do próprio canal, ou seja, que podem ser modificadas por ele – e.g. declividade, largura, profundidade do canal e velocidade do fluxo).

A cada correlação das variáveis envolvidas e de sucessivas combinações sobre elas, pode-se proferir distintos padrões de canais fluviais em um mesmo curso de água, bem como em diferentes escalas temporais.

Tal dinamismo é comparável aos fenômenos atmosféricos que são bem presentes nos rios e intimamente ligados à atmosfera, assim ao compreender a dinâmica fluvial é possível contribuir para uma melhor utilização dos rios e auxiliar à capacitação de suporte à decisão dos recursos hídricos.

Diante dessas premissas, sabe-se que os padrões ao serem desvendados são bastante relevantes, pois servem como subsídios ao gerenciamento da gestão hídrica do manancial pesquisado que, encontra-se bastante degradado e localiza-se na região do semiárido potiguar. Tal região é caracterizada por ter forte escassez das reservas naturais de água doce e precipitações irregulares com escoamentos superficiais. A falta de recursos renováveis de água doce constitui em um obstáculo considerável ao desenvolvimento sustentável do semiárido (PETTA et al., 2010).

Assim, define-se que a contribuição e questão principal em desvendar um padrão de canal fluvial está em a partir disso poder notar o potencial que a tecnologia de Sensoriamento Remoto tem na ampliação do conhecimento de uma dada realidade, visto que isso é possível ao se extrair informações relevantes para o avanço do conhecimento dos canais fluviais, utilizando-se de dados provenientes do Sensoriamento Remoto sobre as formas desses canais, a fim de que sejam analisados com o objetivo de vir a apoiar investigações sobre recursos hídricos em territórios nacionais.

### **3 MINERAÇÃO DE PADRÕES DE CANAIS FLUVIAIS EM IMAGENS DE SENSORIAMENTO REMOTO**

#### **3.1 O PROCESSO DE MINERAÇÃO DE IMAGENS**

As técnicas de análise espacial buscam descrever os padrões a partir dos dados espaciais inerentes às imagens de satélite. Neste trabalho, o objetivo é que, prioritariamente, de forma quantitativa, possa-se estabelecer os relacionamentos entre as diferentes variáveis geográficas (CÂMARA et al., 2002).

Mineração de imagens de Sensoriamento Remoto realiza a busca por padrões espaço-temporais que sejam: válidos, previamente desconhecidos, úteis e compreensíveis, haja vista que a importância da informação extraída dos bancos de imagens tem se tornado uma relevante estratégia às instituições e organizações.

Diante deste contexto, sabe-se que a demanda econômica, política, social e governamental por resultados em prazos favoráveis a partir de informações estratégicas das imagens, e consequente possibilidade de aplicações de mineração de dados em imagens, motivam pesquisas em diferentes áreas no Brasil e pelo mundo (e.g. monitoramento ambiental - cobertura florestal da Amazônia, uso e cobertura do solo, planejamento urbano, vigilância territorial, previsão de safra, dentre outros) (SILVA; CÂMARA, 2003).

Diante destas demandas, sabe-se que o processo de extração de conhecimento utilizando-se de mineração de dados em bancos de imagens tem como base dois desafios: o reconhecimento e a extração de informações semanticamente significativas, realizando isto de maneira eficiente nestes acervos.

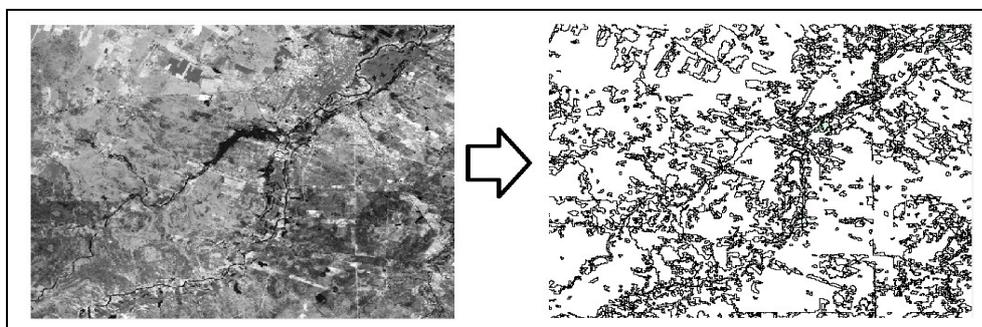
A mineração de dados em imagens não é apenas a aplicação de técnicas de mineração de dados na base de dados de imagens como na mineração convencional, pois nela existem algumas distinções que são bastante relevantes ao explorar tanto os bancos de imagens quanto os bancos de dados tradicionais (relacionais, orientados a objetos, dentre outros). Tais distinções são baseadas na existência de alguns fatores, como: a semântica dos elementos da imagem e a multiplicidade de interpretações de padrões visuais. Estes fatores influenciam e incitam a tarefa de se extrair conhecimento que são advindos e intrínsecos aos bancos de imagens (SILVA, 2006).

Para isto, algoritmos são desenvolvidos no intuito de gerar uma enumeração específica de padrões de uma dada realidade observada. Estes algoritmos de mineração de imagens utilizam técnicas de segmentação da mesma para distinguir objetos e suas propriedades nas imagens, no intuito de realizar a extração de padrões. Os algoritmos de segmentação fundamentam-se basicamente em três abordagens: crescimento de regiões, detecção de bordas e combinação de ambas (SILVA, 2006).

Na abordagem do crescimento de regiões, o algoritmo divide a imagem em um número de regiões homogêneas que correspondem às áreas de interesse do ponto de vista da aplicação e são definidas como um conjunto de pixels contíguos, com espalhamento bidimensional, os quais apresentam uniformidade em relação a determinado atributo (área, forma, elementos estatísticos e textura) obtido e utilizado na análise da imagem. Os algoritmos de segmentação que utilizam a técnica de crescimento de regiões dividem a imagem em um número de regiões homogêneas, cada uma identificada por um rótulo, cujo processo iterativo faz com que regiões espacialmente adjacentes sejam agrupadas segundo algum critério de similaridade. O resultado final é uma imagem rotulada (KORTING et al., 2009).

Na abordagem da detecção de bordas, as posições de pixels com variações abruptas de níveis de cinza entre regiões homogêneas (bordas) são extraídas gerando como resultado um mapa de bordas, cujos pontos caracterizam as transições entre objetos distintos. A seleção de uma destas abordagens ou a combinação delas depende fortemente dos tipos de dados usados na análise e da área de aplicação (FONSECA, 2000). A Figura 8 ilustra como se porta a imagem segmentada:

Figura 8 – Segmentação da imagem.



Fonte: Korting et al. (2009).

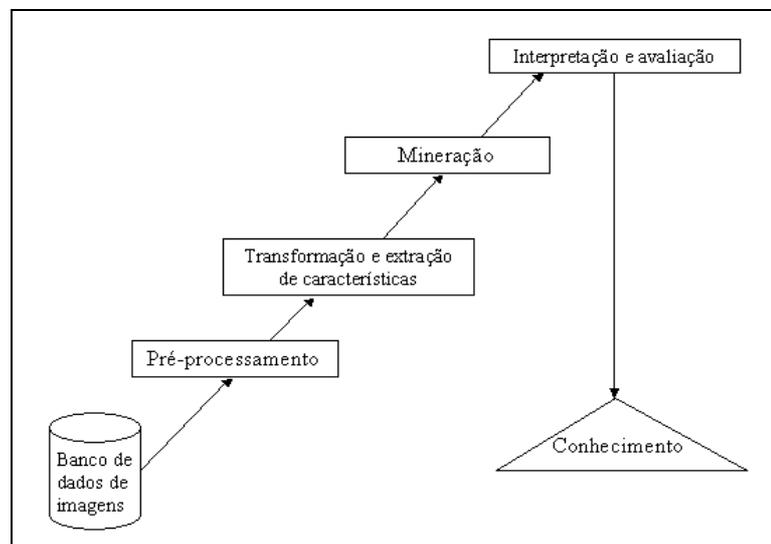
Assim, sabe-se que além da extração de objetos relevantes, é possível descrevê-los para melhorar sua representação. Descritores de forma, de cores (e.g. cores dominantes),

textura (regularidade, direção, rugosidade) dentre outros, fornecem medidas de similaridade de objetos, ampliando a relevância da informação e oferecendo tanto métricas comparativas como combinações ponderadas da diferença de seus atributos, pois uma vez segmentada e descrita, a imagem terá mapeada uma representação de objetos (NEWSAM et al., 2001).

O processo de mineração é realizado em um banco de imagens que são exploradas utilizando-se de critérios que são inerentes à aplicação. Na fase de pré-processamento, há o aumento da qualidade dos dados, os quais são então submetidos a uma série de transformações e de extração de características que geram importantes informações a respeito das imagens.

A partir das informações obtidas, a mineração pode ser executada por meio de técnicas específicas, com o objetivo de descobrir padrões relevantes a partir da realidade observada. Os padrões extraídos são então interpretados e avaliados para a obtenção do conhecimento, que pode ser aplicado na abstração de problemas e tomada de decisões (ZHANG et al., 2002). A figura 9 ilustra o esquema do processo de mineração de dados em imagens.

Figura 9 – Processo de mineração de imagens.



Fonte: Zhang et al. (2002).

A seguir, Zhang et al. (2002) esclarece diferenças relevantes entre estes bancos de dados convencionais e os bancos de imagens:

- Valores relativos e valores absolutos: em bancos de dados relacionais, os valores de dados são semanticamente significativos, por exemplo, seja um atributo idade igual a 28; o valor expressa um entendimento bastante claro. Valores de imagens em si podem

não possuir significância sem o suporte de um contexto. No caso de um pixel com valor de escala de cinza igual a 46, torna-se evidente sua dependência dos pixels ao redor para chegar a alguma informação sobre o mesmo (aparência mais clara, mais escura, constitui borda, etc.).

- Informação espacial: em bancos de imagens, a informação implícita é crítica para a interpretação da imagem, já nos bancos relacionais isso não ocorre. Com o objetivo de mitigar este problema, utiliza-se a extração de características independentes de posição em cada imagem (metadados, anotações, etc.) antes da mineração de padrões espaciais (objetos, seus relacionamentos, etc).
- Interpretação única e interpretação múltipla: comumente ocorre a interpretação múltipla dos padrões visuais. Para isto, algoritmos tradicionais de associação de padrões a uma classe não são aplicáveis. Então, novas categorias de algoritmos são necessárias para lidar com as demandas especiais ao realizar-se a mineração e interpretação de padrões a partir de imagens.
- Representação visual dos padrões descobertos: para realiza-la deve-se levar em consideração que diferentes questões devem ser abordadas: como representar padrões de imagens de forma que pelo menos a informação contextual e espacial sejam retidas no esquema de representação? Quais as características relevantes da imagem que devem ser utilizadas no processo de mineração para que os padrões descobertos sejam visualmente significativos? Como representar padrões minerados ao usuário em um ambiente visualmente rico em informações? (ESCADA, 2003). Cita-se como exemplo a evolução de padrões que possam existir em uma bacia hidrográfica, especificamente a representação de padrões que possam ser encontrados em canais fluviais do Rio Mossoró.

Além disso, os métodos convencionais levam os analistas a selecionarem subconjuntos relevantes destas imagens para análise mais detalhada, incorrendo no risco de perda de fenômenos e processos observáveis.

Neste contexto, os padrões resultantes são então investigados, interpretados, avaliados e validados, a fim de se obter o conhecimento final, que pode ser aplicado à abstração de realidades, especialmente à compreensão de crescimento, preservação, inovação e problemas que encontram-se nestas realidades, propiciando assim um auxílio às tomadas de decisões ou outras aplicações estratégicas. Desta forma, a mineração de dados em imagens certamente

aprimoraria o resultado final de muitos trabalhos, podendo até enriquecer ou alterar conclusões (SILVA; CÂMARA, 2003).

### 3.2 TIPOLOGIA DE PADRÕES ESPACIAIS PARA CANAIS FLUVIAIS

Uma bacia hidrográfica é uma unidade fisiográfica complexa, definida topograficamente, drenada por um curso d'água (rio) ou por um sistema de cursos de água interconectados, carreando sedimentos e materiais dissolvidos em consequência do uso e ocupação de sua área, bem como dos elementos do quadro sócio-ambiental que a caracteriza. Assim, a bacia hidrográfica pode ainda ser considerada como uma célula ou unidade física ideal aos estudos da paisagem integrada, pois a partir dela é possível ao pesquisador realizar a análise e o monitoramento ambiental de uma paisagem (LEITE; ROSA, 2007); (MORAIS; ALMEIDA, 2010).

Diante deste contexto, sabe-se que as bacias hidrográficas integram uma visão conjunta do comportamento das condições naturais e das atividades humanas nelas desenvolvidas e passam por mudanças significativas em qualquer dessas unidades, podendo gerar alterações, efeitos ou impactos à jusante e nos fluxos energéticos de saída. Essa bacia é concomitantemente alterada pelas atividades antrópicas (e.g. agricultura) e concentradas (e.g. cidades e áreas industriais). Considerando as inter-relações entre as partes e o todo, estas apresentam variabilidade temporal com elementos de imprevisibilidade (e.g. comportamento aleatório), adotando configurações espaciais distintas e imprevisíveis no tempo e no espaço.

Deste modo, o objeto de estudo a ser investigado está diretamente ligado ao elemento principal que constitui uma bacia hidrográfica, o rio - e seus canais fluviais, onde a partir da ótica da paisagem integrada espera-se colher resultados importantes sobre o Rio Mossoró, pois o mesmo será considerado como unidade espacial de estudo e planejamento. Para isto, sabe-se que na literatura não há uma classificação precisa dos tipos de canais fluviais, alguns são classificados em: meândrico, anastomosado, retilíneo, deltaico, ramificado, reticulado e irregular. Neste trabalho, investigou-se os canais do tipo único: retilíneo, meândrico e irregular (ou tortuoso) (GUERRA, 1987); (GERGEL et al., 2002).

Para isto, deve-se utilizar uma tipologia de padrões espaciais, a fim de alcançar o objetivo supracitado, pois a mesma ao ser associada a um determinado domínio de aplicação auxilia na extração de informações relevantes aos traços característicos de um conjunto de

dados, visando determinar tipos e sistemas de um ambiente observado. O uso da tipologia deve ser agregado à configuração espacial dos canais fluviais, buscando investigar especificamente os tipos de canais fluviais e conseqüentemente, notificar o padrão do arranjo espacial que o leito do Rio Mossoró apresenta ao longo de seu curso (SILVA, 2006).

O objetivo principal da mineração de imagens em Sensoriamento Remoto utilizando tipologias de canais fluviais nesta pesquisa foi extrair padrões espaciais através de métricas da paisagem do Rio Mossoró.

Isto é possível considerando-se a escala, pois a mesma permite a ligação do padrão com a dinâmica da paisagem, auxiliando na compreensão da complexidade dos padrões e dos processos pertencentes à paisagem, pois a escala é utilizada no dimensionamento e análise dos mapas, uma medida que relaciona o objeto real e o seu desenho (representado em uma superfície plana - o mapa), por exemplo, uma escala fina ou detalhada é atribuída ao padrão de uma pequena área (onde a diferença entre a realidade e o mapeado encontra-se pequena); já a escala ampla é atribuída ao padrão de uma grande área (onde a diferença entre o tamanho do mapa e o tamanho real é grande) (FARINA, 1998); (FORMAN, 1995); (TURNER et al., 2001).

A configuração espacial associada ao conceito de paisagem, tipologia de canais fluviais e uso da técnica de mineração de dados espaciais são suficientes para se extrair características, padrões espaciais e informações estratégicas que encontram-se inerentes ao Rio Mossoró, resultando em indicativos de tomadas de decisão. Destarte, definiu-se e adotou-se uma tipologia para a especificação da mesma. Conforme Quadro 1:

Quadro 1 – Tipologia para padrões de canais fluviais.

<b>PADRÃO DO CANAL FLUVIAL</b>	<b>DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL</b>	<b>DINÂMICA DA PAISAGEM</b>	<b>PADRÕES ELEMENTARES</b>
<p>• <b>Retilíneo</b></p>	<p>Nesta tipologia de canal fluvial, o rio percorre uma trajetória retilínea possuindo uma sinuosidade desprezível em relação à sua largura. Observa-se, mais frequentemente, uma sucessão de segmentos retos. Usualmente, o canal retilíneo apresenta margens retas e seções transversais estreitas e profundas, possuindo uma alternância lateral do talvegue, que se desloca de uma margem a outra.</p>	<p>As características dinâmicas da morfologia fluvial desse canal são de ocorrência relativamente rara na natureza, sendo usualmente ligado a linhas de falhas geológicas. Geralmente, associa-se a uma planície fluvial estreita. Em geral, o leito apresenta-se com depressões e soleiras.</p>	
<p>• <b>Meândrico</b></p>	<p>O canal meândrico possui um processo de divagação pelo qual o canal desloca suas curvas tanto em direção da jusante, como lateralmente dentro da planície. Nestes tipos de canais, os processos ligados à vazão, assim como os ajustes entre as variáveis hidráulicas, fazem com que os meandros apresentem características geométricas independentes da grandeza e do traçado do seu vale.</p>	<p>As características dinâmicas da morfologia fluvial desse canal estão diretamente ligadas à forte inter-relação entre os diversos tipos de canais fluviais que suscitam diferentes possibilidades de evolução dos canais meândricos, indo desde o abandono de um meandro e evolução para um rio retilíneo até a tendência de reticulação, ou seja, de formação de canais múltiplos.</p>	
<p>• <b>Irregular</b></p>	<p>O canal fluvial irregular está em uma subdivisão de categorias intermediárias do padrão de canal fluvial retilíneo. As características desse canal estão diretamente ligadas ao fato de se desenvolverem com curvas fechadas e mudanças abruptas de direção ao longo do trecho do rio.</p>	<p>As características dinâmicas da morfologia fluvial indicam que o leito pode escoar sobre rochas, possuindo uma variada litologia e poderá desenvolver-se sobre argissolos vermelho-amarelos e cambissolos, como também sobre um modelado de cristas e morros de topos convexos. Sob estas condições, os rios irregulares apresentam uma dinâmica muito diversificada, onde trechos fluviais indicam imposição das estruturas e erosão diferencial, alternando-se por trechos em planícies alveolares.</p>	

Fonte: Adaptado de Baptista e Sperling (2007) e Christofolletti (1981).

Assim sendo, a observância do pesquisador sobre a paisagem estudada deve possibilitar, a partir da tipologia de padrões de canais fluviais e domínios de aplicação, a

análise de um acervo de imagens para processar, integrar e analisar as informações que encontram-se inerentes ao banco de imagens. Logo, a mineração do banco de imagens utilizando o GeoDMA, busca extrair o padrão da paisagem observada sobre os dados (em formato raster), comum às imagens de satélite (TURNER et al., 2001); (KORTING et al., 2010).

A extração, ocorre a partir de atributos estruturais e conceitos dos domínios de aplicação inerentes às imagens analisadas, buscando caracterizar elementos (objetos da paisagem) a partir de unidades semânticas, reconhecendo a realidade da mesma e, conseqüentemente, mensurando as feições geomorfológicas do rio, possibilitando ao usuário identificar e realizar as devidas tomadas de decisões sobre uma dada realidade encontrada (por observação e mineração) (MATHER, 1999).

Deste modo, a associação da tipologia ao objeto de estudo (imagens), diferenciando e identificando o que é o domínio da imagem e o que é o domínio da aplicação, possibilita identificar a geometria resultante dos canais fluviais deste leito. Por conseguinte, a execução da técnica de mineração de dados espaciais no acervo das imagens, possibilita extrair estimativas de padrões de canais fluviais na ótica da paisagem integrada, a medida em que o usuário vai observando que a aplicação descreve o vocabulário relacionado a um determinado domínio (e.g. Rio Mossoró), especificando contextos e atividades do mundo real. Suas especializações e características devem identificar classes específicas aos seus elementos e consequentes relacionamentos (SILVA, 2006); (BAPTISTA; SPERLING, 2007).

Diante disto, o conjunto dos aspectos topográficos, geológicos, pedológicos, climáticos e hidrológicos inerentes à bacia hidrográfica, em combinação com os processos modeladores da calha fluvial (características do escoamento do rio), atribuem um caráter altamente dinâmico à configuração do canal fluvial (no espaço e ao longo do tempo). Assim, através desse esforço multidisciplinar torna-se possível analisar a paisagem para poder conseqüentemente extrair padrões e a partir deles indicar tomadas de decisões com enfoque ambiental (LEITE; ROSA, 2007).

Finalmente, sabe-se que as contribuições relevantes aos estudos da Geografia Física e da paisagem podem ser vistos como uma realidade integrada, onde os elementos abióticos, bióticos e antrópicos sejam associados de forma que se tenha uma análise sistêmica sobre o estudo e padrão da paisagem, acarretando em indicativos de tomadas de decisão, pois a tendência atual através de estudos de um geossistema é combinar uma dinâmica de um potencial ecológico (geomorfologia, clima, hidrologia) a uma condição de uma exploração

biológica natural (vegetação, solo, fauna) e atividades antrópicas, relacionando-se a um modelo teórico que encontra-se apropriado a uma dada realidade (BOLÓS, 1981).

### 3.3 MÉTRICAS DA PAISAGEM PARA CANAIS FLUVIAIS

Conceitua-se a paisagem como um mosaico heterogêneo que é composto por unidades homogêneas, as quais possuem algumas características (METZGER, 2001).

O método mais comum para se explorar esse conjunto de mosaicos e identificar os padrões da paisagem inerentes aos mesmos é extraindo informações destes padrões. Para isto, deve-se utilizar variáveis (métricas da paisagem ou índices da paisagem) que são ferramentas relevantes destinadas a auxiliarem na efetivação de algumas atividades como: monitoramento dos padrões, análise de mudanças na estrutura da paisagem e no relacionamento dos padrões aos processos de mudança da paisagem (FROHN, 1998).

Sendo assim, a escolha do uso de métricas da paisagem possui uma ligação direta com a necessidade de quantificar espacialmente a estrutura da paisagem e a relação entre a heterogeneidade paisagística da mesma e suas propriedades locais. Algumas atividades territoriais, por exemplo, planejamento regional e exploração de recursos naturais acarretam tomadas de decisões que poderão alterar a estrutura da paisagem e conseqüentemente sua função, pois a caracterização da paisagem busca o conhecimento da mesma, a partir da classificação das suas unidades e de seus sistemas complexos que são resultantes de processos de avaliação altamente restrita e englobam seus componentes locais e contextuais.

Diante disto, sabe-se que para preferir as métricas específicas à exploração dos canais fluviais deve-se considerar o envolvimento da análise da interação do padrão espacial da paisagem e do processo ecológico, evidenciando as causas e efeitos da heterogeneidade espacial em uma série de escalas, pois as análises utilizando as métricas da paisagem permitem assimilar a distribuição espacial da estrutura da paisagem e sua dinâmica, incluindo avaliações com relação às áreas que compreendem os canais fluviais (DUARTE et al., 2010).

Neste processo é realizada a associação do arranjo espacial dos canais fluviais a um padrão de canal fluvial. Para tanto, avaliou-se um extenso conjunto de métricas da paisagem que, são especificamente direcionadas à análise espacial no nível de bacias hidrográficas, estas são: *Number of Patches* (NP), *Mean Patch Size* (MPS), *Mean Shape Index* (MSI), *Area Weight Mean Shape Index* (AWMSI), *Total Edge* (TE), *Mean Patch Fractal Dimension* (MPFD) e *Interspersion and Juxtaposition Index* (IJI) (YU-PIN LIN et al., 2008). Muitas destas métricas foram implementadas entre os anos de 2008 – 2010 (KORTING et al., 2008);

(KORTING et al., 2010), no projeto GeoDMA. As métricas que foram implementadas no GeoDMA para esta dissertação encontram-se descritas no Quadro 2 abaixo:

Quadro 2 – Métricas da paisagem para canais fluviais.

NOME	DESCRIÇÃO	FÓRMULA	FAIXA	UNIDADES
<p><i>Number of Patches (NP)</i> (Número de fragmentos)</p>	<p><b>NP</b> - Número de fragmentos existentes na classe;</p> <p><b>ni</b> - número de fragmentos de tipo (classe) <i>i</i> na paisagem.</p> <p>Logo, NP é igual ao número de fragmentos que corresponde ao tipo de fragmento (por classe).</p>	$NP = n_i$	<p>NP ≥ 1</p>	-
<p><i>Total Edge (TE)</i> (Total de bordas)</p>	<p><b>TE</b> – Total da borda;</p> <p><b>eik</b> - tamanho total da borda entre tipos (classe) de fragmentos <i>i</i> e <i>k</i>.</p> <p>Logo, TE é a soma de todas as bordas da classe.</p>	$TE = \sum_{k=1}^m e_{ik}$	<p>TE ≥ 0</p>	<p>Metros.</p>
<p><i>Interspersion and Juxtaposition Index (IJI)</i> (Índice de intercalação e justaposição)</p>	<p><b>eik</b> - comprimento total da borda na paisagem entre tipos de fragmentos <i>i</i> e <i>k</i>.</p> <p><b>e</b> - total do comprimento de borda na paisagem.</p> <p><b>m</b> - tipos de fragmentos.</p> <p>Logo, IJI é a intercalação observada sobre a máxima intercalação possível para um dado número de tipos de fragmentos (classes).</p>	$IJI = \frac{-\sum_{i=1}^m \sum_{k=i+1}^m \left[ \left( \frac{e_{ik}}{E} \right) - \ln \left( \frac{e_{ik}}{E} \right) \right]}{\ln[1/2(m(m-1))]} (100)$	<p>0 &lt; IJI ≤ 100</p>	<p>Porcentagem.</p>

Fonte: McGarigal (2002).

A métrica IJI que foi anteriormente proposta no Fragstats foi adaptada para adequar-se ao software GeoDMA. Este fato é relevante, pois pesquisas no mundo inteiro adaptam as métricas do software Fragstats para poder suprir as necessidades do domínio do usuário e auxiliar em áreas que ainda necessitam de contribuições, por exemplo, a hidrologia (UUEMAA, 2009). Para tanto, uma versão simplificada da IJI foi implementada no GeoDMA, pois buscou-se melhor poder explorar os dados em que se possui apenas uma classe. Então a IJI que foi adaptada resultou na descrição que encontra-se na Quadro 3:

Quadro 3 – IJI adaptada para o GeoDMA.

NOME	DESCRIÇÃO	FÓRMULA	FAIXA	UNIDADES
<p><i>Interspersion and Juxtaposition Index (IJI)</i></p> <p>(Índice de intercalação e justaposição)</p>	<p>Na métrica IJI que foi adaptada:</p> <p><b>ek</b> - representa o perímetro dos polígonos;  <b>E</b> - é a soma dos perímetros juntamente com o perímetro da célula;  <b>ln</b> - logaritmo natural;  <b>c</b> - classes.</p> <p>Logo, a IJI que foi adaptada calcula apenas os fragmentos, sem distinção de cada classe. Isto foi necessário, pois o GeoDMA ainda não trabalha com mais de uma classe e para a IJI que foi adaptada é importante ter mais de uma classe, senão o cálculo dará sempre zero. Então, o cálculo se dará pelo perímetro da célula e dos polígonos que estão dentro dela, resultando em duas classes. .</p>	$IJI = \frac{eik}{E} \cdot \ln\left(\frac{eik}{E}\right) \cdot (-100)$	$0 < IJI \leq 100$	<p>Porcentagem.</p>

Fonte: McGarigal (2002).

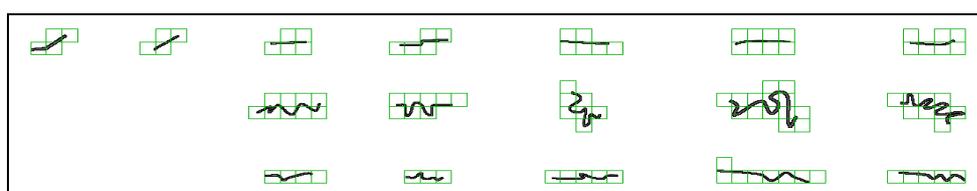
Assim, observa-se que por apenas existir uma classe e o perímetro total da célula, a IJI pode ser adaptada para a fórmula mais simples.

Sobretudo, o uso dessas métricas torna-se um auxílio ao especialista no domínio (e.g. ecólogo), no intuito de assegurar ao mesmo uma leitura da configuração da paisagem, constatando a heterogeneidade, a fragmentação e a composição espacial da mesma. Logo, na prática, a extração dessa realidade espacial a partir de dados de Sensoriamento Remoto visa assistir e sugerir ao especialista uma nova ferramenta para a supervisão e execução do monitoramento da paisagem hidrográfica. Futuramente, ao observá-la, este profissional poderá realizar uma melhor identificação das alterações hidrológicas da paisagem.

### 3.4 MINERAÇÃO DE PADRÕES EM DADOS SINTÉTICOS

Os experimentos com os dados sintéticos têm o objetivo de avaliar e validar a eficácia quanto à detecção dos padrões que estão sendo investigados na paisagem, podendo ser extraídos a partir das métricas de ecologia da paisagem. Essas métricas ao serem utilizadas no GeoDMA devem gerar árvores de decisão que são relevantemente direcionadas à abstração dos padrões ao usuário, pois à medida que um determinado conjunto de características e feições podem ser representadas por diferentes classes que compõem os canais fluviais, estas revelam o padrão do canal fluvial. A Figura 10 ilustra essas classes de canais fluviais:

Figura 10 – Objetos representando a tipologia de canais fluviais.



Fonte: Autoria própria (2011).

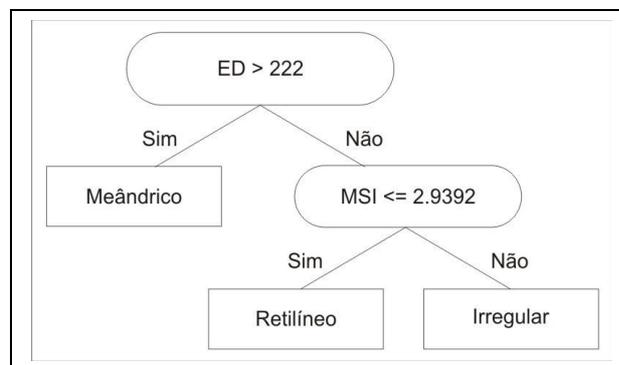
A fim de validar a eficiência do algoritmo na detecção de padrões de canais fluviais através de métricas da paisagem, dados sintéticos foram minerados no GeoDMA.

Verificou-se que os primeiros experimentos com esses objetos trouxe como resposta a eficácia na detecção de padrões através de métricas de ecologia da paisagem. Essa detecção pôde ser alcançada, pois ao utilizar a mineração de dados o classificador foi apto a gerar uma árvore de decisão que ilustra precisamente os padrões.

A árvore de decisão diferencia e classifica cada característica espacial do cenário minerado, de acordo com suas características estruturais que podem ser encontradas pelas métricas de ecologia da paisagem. Para tanto, realizou-se a mineração nesses dados sintéticos. As métricas da paisagem utilizadas foram: ED, MSI, AWMPFD, AWMSI, CA, MPAR, MPFD, MPS, PD, *PercentLand*, PSCOV e PSSD.

Quando houveram interações, o classificador gerou uma árvore de decisão que encontra-se exposta na Figura 11 abaixo:

Figura 11 – Árvore de decisão para detecção de canal fluvial no rio sintético.



Fonte: Autoria própria (2011).

A partir deste modelo, pode-se afirmar que o algoritmo foi capaz de distinguir apenas com a métrica ED a classe meândrico, mas ele precisou da ED e MSI para diferenciar o irregular e o retilíneo.

Mediante este exemplo, verifica-se que o modelo associado às características estruturais retratadas pelas métricas devem diferenciar e classificar cada feição. De fato, os objetos devem ser sujeitos ao processo de segmentação e extração de métricas de ecologia da paisagem e logo após isso devem gerar os dados sintéticos que podem ser provenientes de uma só métrica utilizada ou de um conjunto de métricas a serem utilizadas no GeoDMA para que seja realizada a distinção de todos os objetos presentes na imagem (KORTING et al., 2008).

Logo, a avaliação do usuário nas diferentes fases do processo é fundamental, pois através de interações que buscam um melhor ajuste do modelo, pode-se verificar o desempenho da mineração de padrões de mudança em imagens de Sensoriamento Remoto através dos objetos presentes nas imagens, cujas feições geralmente apresentam variações inerentes à dinâmica da paisagem. Para a tarefa em questão, considera-se que os objetos do conjunto de dados sintéticos possuem uma boa definição estrutural.

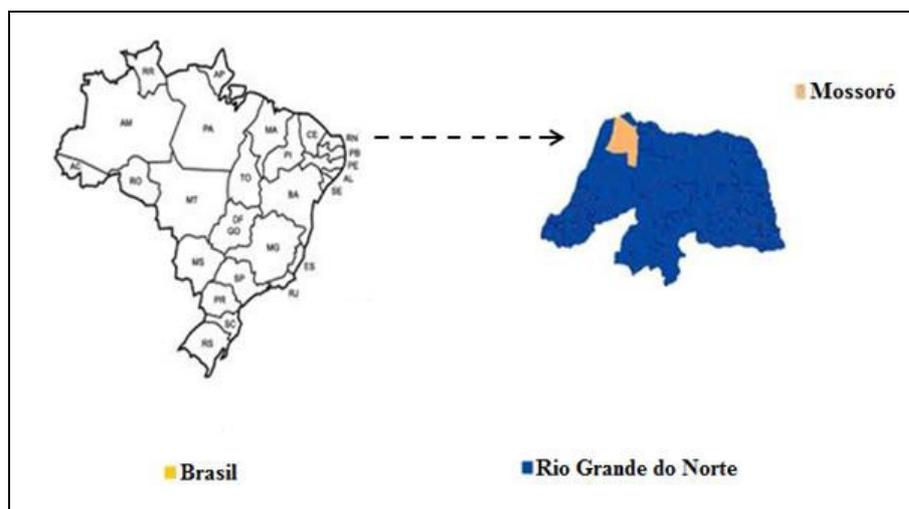
Finalmente, a fim de validar estes procedimentos de mineração de dados, associa-se uma tipologia de canais fluviais a um conjunto de dados que possuam relacionamentos espaciais e padrões relevantes que se encontram inerentes no acervo de imagens (KORTING et al., 2009).

## 4 ESTUDO DE CASO

### 4.1 ÁREA DE ESTUDO

A área imageada para estudos, concentra-se no Estado do Rio Grande do Norte, especificamente no perímetro urbano do município de Mossoró que segundo o IBGE (2005) possui uma área de 11,5834 km<sup>2</sup>. A Figura 12 ilustra a localização do município de Mossoró em seu perímetro urbano no mapa:

Figura 12 – Localização do Município de Mossoró/RN.



Fonte: Prefeitura Municipal de Mossoró (2011).

Referente aos recursos hídricos, o município de Mossoró está inserido na Bacia Hidrográfica Apodi/Mossoró. A figura 13 ilustra o Rio Mossoró, no qual foi estudado nesta pesquisa:

Figura 13 – Vista aérea do Rio Mossoró.



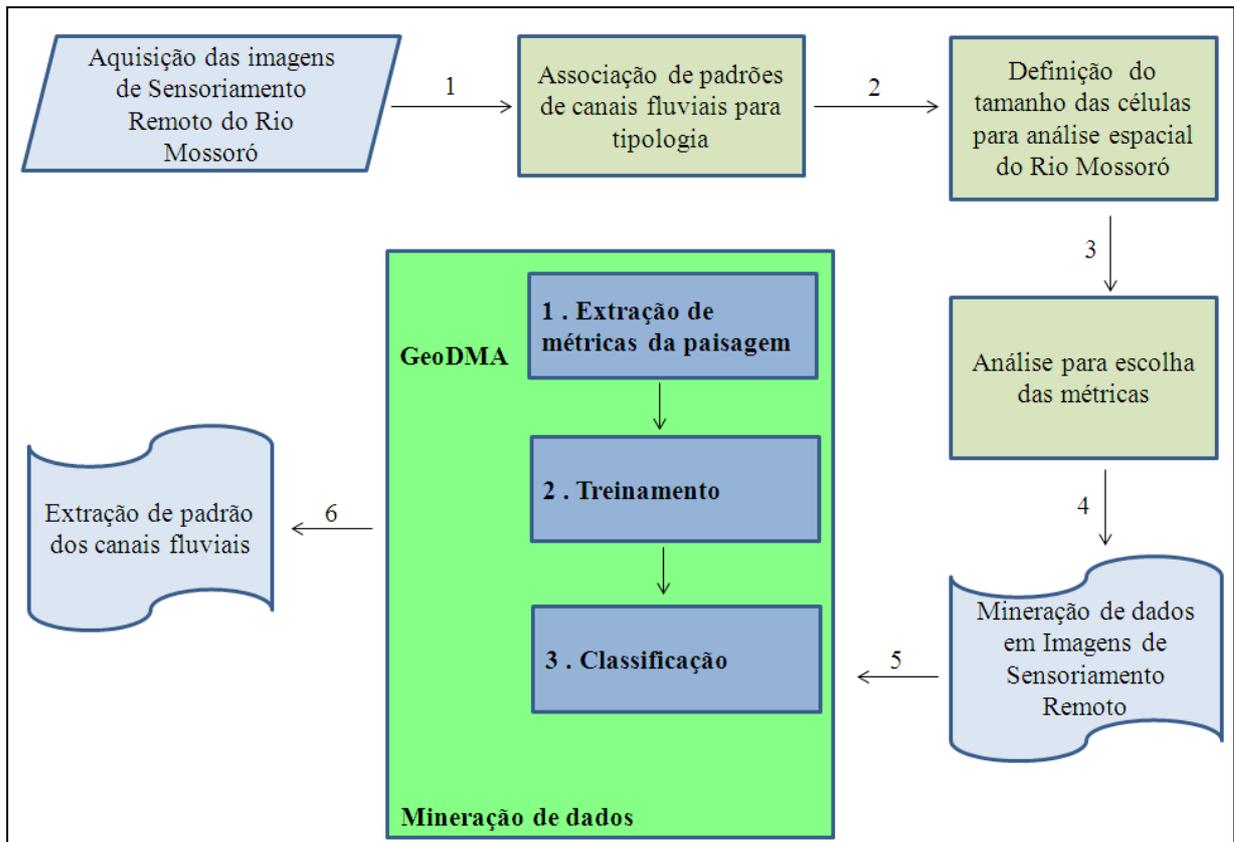
Fonte: Google Earth (2010).

A Bacia Hidrográfica Apodi/Mossoró é iniciada ao sudoeste do nordeste (SSW-NE) com a travessia do Rio Mossoró e continua ao NORTE com o córrego Gangorra; ao SUL com o Rio do Carmo, os riachos: do Bonsucesso, do Nogueira, Grande, do Inferno, Fundo e Olho d'água, além do córrego do Bastião; ao LESTE com os riachos: da Suçuarana, Poço dos Bois, Xique xique, Passagem Velha, São Raimundo, Pai Antônio e o Córrego Jerimum; ao OESTE com os riachos Campo do Junco, Grande, Cabelo Negro e córrego do Virgílio. Estes são os seus principais tributários (ARAÚJO et al., 2007).

## 4.2 METODOLOGIA

A Figura 14 apresenta os procedimentos realizados nesta pesquisa para a mineração de imagens de Sensoriamento Remoto. As etapas foram subdivididas em: Aquisição das imagens de Sensoriamento Remoto do Rio Mossoró; Associação de padrões de canais fluviais para tipologia; Definição do tamanho das células para análise espacial do Rio Mossoró; Análise para escolha das métricas; Mineração de dados em Imagens de Sensoriamento Remoto e Extração de padrão dos canais fluviais.

Figura 14 – Fluxograma de procedimentos para detecção de padrões fluviais.



Fonte: Modificado a partir de Saito (2010).

Essas etapas serão discutidas nos tópicos seguintes.

#### 4.2.1 Aquisição das imagens de Sensoriamento Remoto do Rio Mossoró

Para análise de padrões dos canais fluviais do Rio Mossoró, explorou-se um acervo de imagens de Sensoriamento Remoto cedidas pelo o Núcleo de Estudos Socioambientais e Territoriais (NESAT) da UERN. As imagens são provenientes do satélite Landsat 5, possuem resolução 30 x 30 m e sensores 216 – 063 e 216 – 064 e banda 4 (infravermelho próximo) que corresponde as características espectrais favoráveis a análise espacial de corpos de água, pois a descrição da mesma é: “Os corpos de água absorvem muita energia nesta banda e ficam escuros, permitindo cartografar a rede de drenagem e delineamento de corpos de água. A vegetação verde, densa e uniforme, reflete muita energia nesta banda e é facilmente identificável. Sensível à morfologia do terreno, permitindo obter informações sobre a

geomorfologia, solos e geologia. Serve para cartografar áreas ocupadas com vegetação que foram queimadas. Permite também a identificação de áreas agrícolas” (VICENS et al., 2001). O período de imageamento é referente às passagens de 09-08-89, 29-08-2008, 09-08-89 e 13-08-2008, respectivamente.

#### **4.2.2 Associação de padrões de canais fluviais para tipologia**

Objetos da paisagem com determinadas características espaciais foram associados a três classes fluviais: retilíneo, meândrico e irregular. Ao associar estas classes a um padrão de canal fluvial, pode-se detectar que tipos de padrões de canais fluviais são existentes em uma determinada paisagem.

Isto é necessário, pois conseqüentemente o especialista no domínio com a tipologia associada à área que está sendo observada e a execução da mineração de dados, poderá naturalmente perceber o cenário pesquisado que encontra-se inerente à área observada, compreendendo os objetos da paisagem e adquirindo novos conhecimentos (padrões) sobre a paisagem pesquisada.

Esse novo conhecimento descoberto propicia a melhoria do nível de tomadas de decisões ao especialista, pois ao tornar os padrões mais evidentes, o pesquisador pode com mais clareza planejar e implementar atividades de gestão de recursos hídricos sobre a área observada, visualizando processos que repercutem nas características, funcionamento e mudanças espaciais no território (MILLER, 2001).

#### **4.2.3 Definição do tamanho das células para análise espacial do Rio Mossoró**

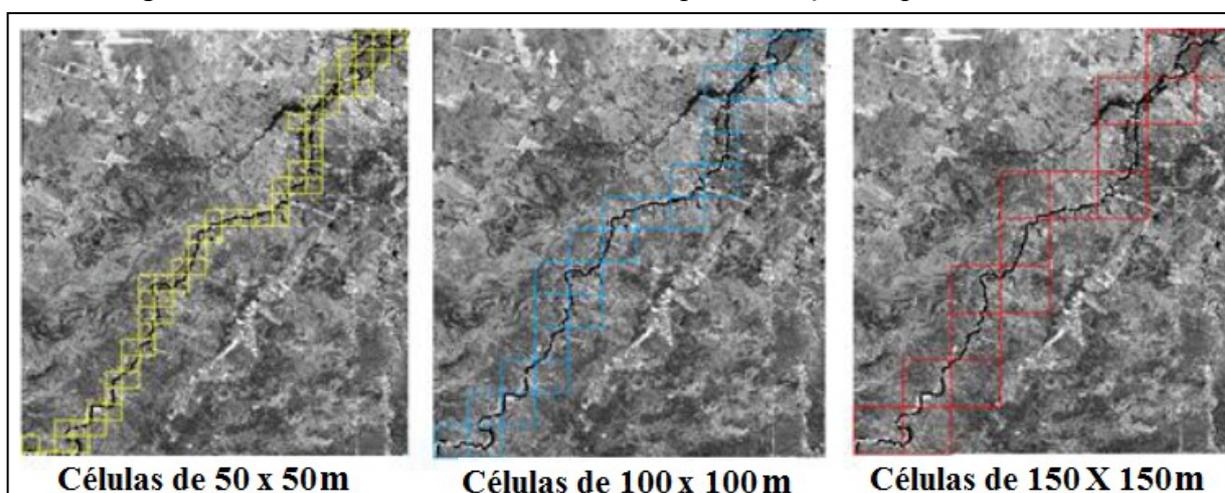
O software TerraView desenvolvido para a realização de análise espacial, utiliza como dados de entrada arquivos no formato raster, grades celulares e dados vetoriais. As imagens de satélite já encontram-se em arquivos raster e nesta pesquisa foram exploradas na abordagem baseada em células.

Na escolha da análise espacial por células, as mesmas são definidas como uma unidade da paisagem que contém polígonos em unidades maiores, permitindo uma melhor

definição da resolução dos dados a serem mapeados. Neste estudo, a paisagem foi dividida em uma grade de células de mesmo tamanho para realizar a análise da paisagem do Rio Mossoró.

Os tamanhos da resolução espacial das células foram escolhidos empiricamente e basearam-se nas dimensões e nos arranjos espaciais dos objetos de interesse nas imagens. Os três tamanhos de células escolhidos foram: 50 x 50m, 100 x 100m e 150 x 150m, a fim de buscar conservar as características mais relevantes dos padrões espaciais do Rio Mossoró. A figura 15 ilustra o tamanho dessas células:

Figura 15 – Diferentes tamanhos de células para extração do padrão do Rio Mossoró.



Fonte: Modificado a partir de NESAT (2011).

Cada tamanho de célula foi minerado, a fim de se extrair com mais eficácia o padrão da paisagem pesquisada (Rio Mossoró). O tamanho adotado para a extração do padrão sobre o Rio Mossoró foi o de 100 x 100m. Logo, na sessão referente aos resultados e discussões (sessão 4.3) pode-se observar em que resultou a mineração realizada sobre a variabilidade dos outros tamanhos de célula.

#### 4.2.4 Análise para a escolha das métricas

Nesta etapa, a escolha das métricas foi realizada considerando-se a dependência entre elas, a fim de efetivar a análise e caracterização espacial da paisagem. Para isto, foram escolhidas métricas que fossem pertinentes à realização da análise da paisagem a partir do uso de células, originando-se uma delimitação mais sistemática para o reconhecimento de padrões

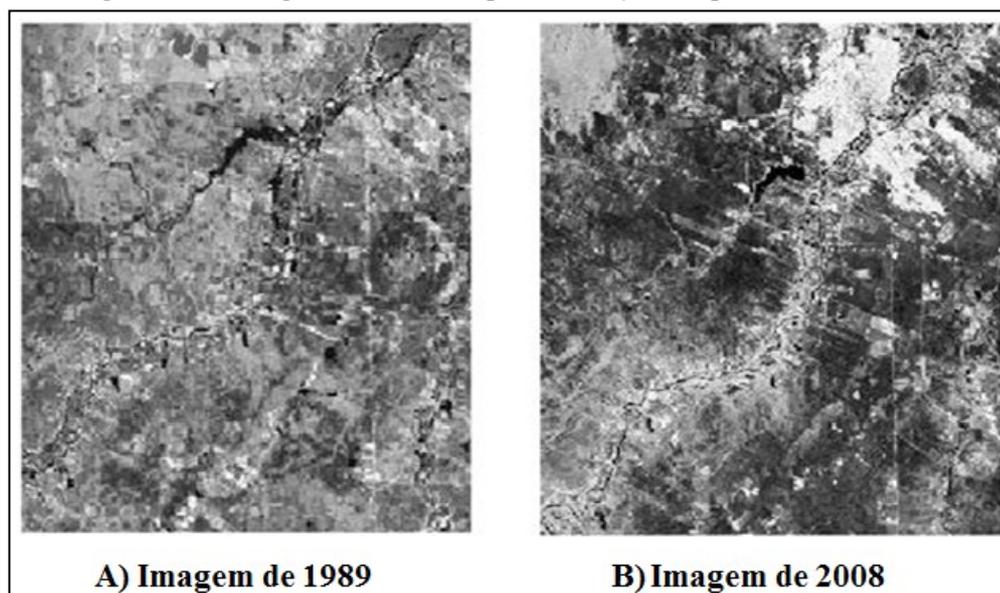
de canais fluviais do rio, visto que análises baseadas em células (polígonos agrupados em unidades maiores) propicia uma análise e visualização mais nítida das geometrias dos canais fluviais deste leito na imagem de Sensoriamento Remoto.

A partir da escolha das métricas foi possível quantificar a paisagem e realizar a descoberta do padrão do canal fluvial sobre o cenário estudado.

#### 4.2.5 Mineração de dados em Imagens de Sensoriamento Remoto

Os procedimentos para a mineração das imagens foram baseados no trabalho de Korting et al. (2010) *Interpreting Images With GeoDMA* que apresenta o *pluggin* GeoDMA como uma importante ferramenta para a mineração de dados espaciais, possibilitando uma análise espacial multitemporal mais detalhada sobre uma série de imagens, auxiliando o especialista no domínio a averiguar com mais precisão mudanças espaciais ao padrão da paisagem observada. Utilizando-se do SIG TerraView (4.1.0) foi possível visualizar os dados em um banco de dados espaciais após tê-los minerado, o que tornou ainda mais favorável abstrair maiores detalhes do padrão sobre o Rio Mossoró. A mineração para o estudo dessa pesquisa foi realizada em imagens do período de agosto de 1989 e agosto de 2008 que são expostas na figura 16 abaixo:

Figura 16 – Imagens mineradas para detecção do padrão fluvial.



Fonte: NESAT (2011).

Para isto, o processo de mineração foi realizado em três etapas principais: 1) extração de métricas da paisagem, 2) treinamento para o reconhecimento dos padrões fluviais e 3) classificação das células nas imagens do Rio Mossoró. Na primeira etapa, o objetivo foi realizar a extração de atributos a partir das métricas escolhidas, na segunda etapa uma série de procedimentos para mineração de dados sobre as imagens foram realizados, a fim de reconhecer os padrões fluviais e na terceira etapa foi possível visualizar uma árvore de decisão que representava os valores dos atributos previamente desconhecidos a cada ano analisado.

As métricas de células combinadas e necessárias ao reconhecimento do padrão do Rio Mossoró correspondem as seguintes: *Percentland*, *Class Area (CA)*, *Mean Patch Size (MPS)*, *Mean Shape Index (MSI)*, *Patch Size Standard Deviation (PSSD)*, *Patch Size Coefficient of Variation (PSCOV)*, *Patch Density (PD)*, *Number of Patches (NP)*, *Total Edge (TE)* e *Interspersion and Juxtaposition Index (IJI)*. A descrição de cada uma delas está na Quadro 4 abaixo:

Quadro 4 – Conjunto de métricas utilizadas na quantificação da paisagem do Rio Mossoró.

<b>MÉTRICAS</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>
<i>Percentland</i>	% <i>Land</i> calcula o percentual da paisagem composta para cada tipo de fragmento correspondente.
<i>Class Area (CA)</i>	CA calcula a soma das áreas (em hectares) de uma célula.
<i>Mean Patch Size (MPS)</i>	MPS calcula a soma das áreas (m <sup>2</sup> ) de todos os fragmentos do tipo de cada fragmento correspondente, dividido pelo número de fragmentos do mesmo tipo.
<i>Mean Shape Index (MSI)</i> ,	MSI calcula a soma do perímetro do fragmento (m) dividido pela raiz quadrada da área de fragmentos (m <sup>2</sup> ) para cada tipo de fragmento correspondente.
<i>Patch Size Standard Deviation (PSSD)</i>	PSSD calcula a raiz quadrada da soma de cada área do fragmento (m <sup>2</sup> ) do tamanho da média de cada tipo de fragmento correspondente, dividido pelo número de fragmentos do mesmo tipo.
<i>Patch Size Coefficient of Variation (PSCOV)</i>	PSCOV calcula a média entre o tamanho do desvio padrão e a média do tamanho do fragmento.
<i>Patch Density (PD)</i>	PD calcula o número de fragmentos de cada tipo de fragmento correspondente divididos pelo o total da área da paisagem.
<i>Number of Patches (NP)</i>	NP calcula o número de fragmentos que

	correspondem ao tipo de fragmento (por classe).
<i>Total Edge (TE)</i>	TE calcula a soma de todas as bordas da classe.
<i>Interspersion and Juxtaposition Index (IJI)</i>	IJI calcula a intercalação observada sobre a máxima intercalação possível para um dado número de tipos de fragmentos (classes).

Fonte: McGarigal (2002).

Todas as métricas acima utilizadas obtiveram um êxito satisfatório ao reconhecimento do padrão do Rio Mossoró (ver árvores de decisão abaixo), exceto a métrica IJI que foi adaptada ao GeoDMA, pois a mesma embora teoricamente correspondesse à quantificação da paisagem para hidrologia não obteve o êxito esperado na mineração de dados por sempre classificar apenas uma classe fluvial, ainda que o algoritmo buscasse classificar uma quantidade considerável de amostras das três classes envolvidas para a extração do padrão, não foi possível detectá-lo satisfatoriamente, visto que os resultados foram sempre o reconhecimento de uma mesma classe sobre toda a imagem minerada.

#### 4.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Dentre os três tamanhos de células sugeridos para a mineração das imagens sobre o Rio Mossoró (ver sessão 4.2.3), buscou-se optar pelo tamanho 100 x 100m, pois observou-se que ao utilizar a associação da tipologia adotada juntamente com os tamanhos distintos de células em cada mineração sobre as imagens da paisagem do Rio Mossoró, encontrou-se alterações nos resultados da extração do padrão desse rio, comprometendo a legitimidade do padrão sobre o Rio Mossoró.

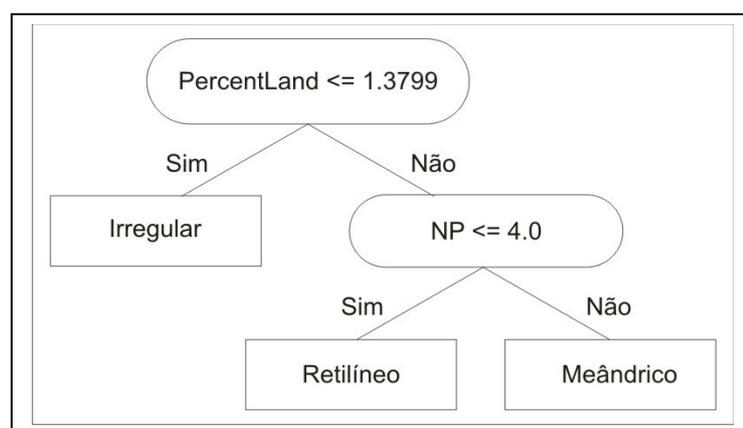
Diante disto, para as células de tamanho 50 x 50m, apesar de haver um número bom de amostras de células para o treinamento e análise da paisagem, houveram dificuldades no treinamento e posteriormente na extração do padrão, pois ao buscar associar as classes a apenas um mínimo do segmento do rio dentro de cada célula, o GeoDMA extraiu o padrão a partir de segmentos irrisórios à tipologia, ou seja, eles eram muito pequenos e resultaram na dificuldade da distribuição do padrão com mais eficiência e legitimidade sobre a paisagem.

Já as células do tamanho 100 x 100m, permitiram verificar que as amostras de células foram consideradas em um bom número para o treinamento e análise da paisagem, nestas células os tamanhos dos segmentos do rio eram similares ao tamanho e forma dos segmentos da tipologia adotada, obtendo-se uma distribuição mais legítima do padrão sobre o Rio Mossoró.

Quanto as células de 150 x 150m, a redução da quantidade de amostras de células comprometeu o treinamento e também essas células sobre cada segmento da paisagem extrapolaram a quantidade de classes sobre o rio, ou seja, as classes da tipologia adotada deveria está em somente uma unidade da paisagem sobre cada célula, no entanto uma mesma célula para ser analisada continha mais de uma classe dentro dela, o que comprometeu a distinção e distribuição com mais eficiência e legitimidade da distribuição do padrão sobre a paisagem observada.

Assim, após ter escolhido o tamanho de célula 100 x 100m como o ideal, ao quantificar a paisagem do Rio Mossoró utilizando-se de métricas da paisagem, árvores de decisão foram geradas pelo o GeoDMA. Elas são mostradas abaixo para cada mineração executada com este tamanho. O resultado das minerações obtiveram êxito ao encontrar respostas que satisfatoriamente descobriram o padrão fluvial desse manancial. As árvores de decisão foram organizadas pelo período minerado de agosto de 1989 e agosto de 2008, respectivamente:

Figura 17 – Árvore de decisão (A) de 1989.

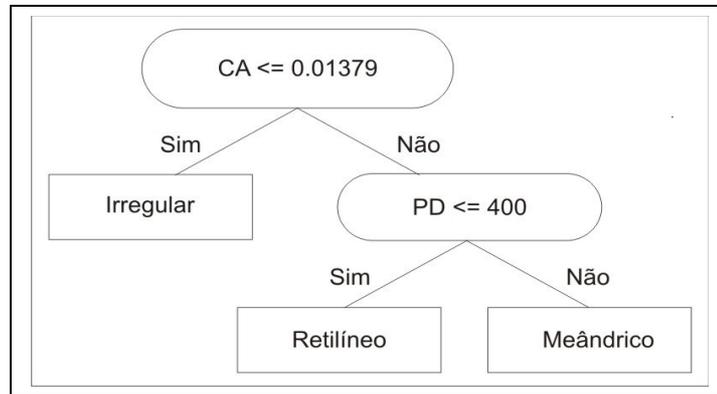


Fonte: Autoria própria (2011).

A Figura 17 ilustra que foram utilizadas apenas duas métricas para que o GeoDMA reconhecesse o padrão do rio sobre o total das classes treinadas. Dentre essas métricas a

*Percentland* era anteriormente implementada no GeoDMA e a *Number of Patches* foi uma métrica da paisagem inserida a partir desta pesquisa.

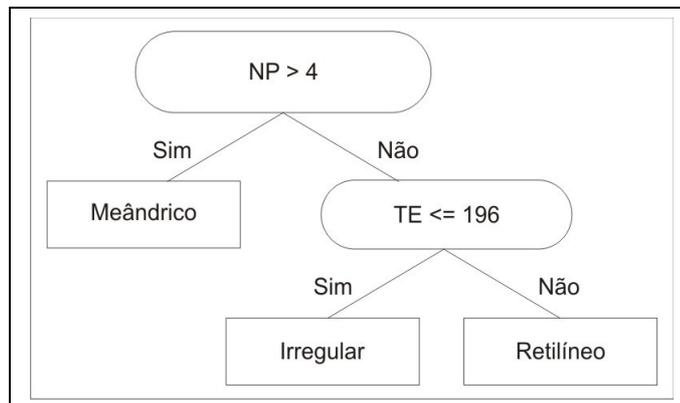
Figura 18 – Árvore de decisão (B) de 1989.



Fonte: Autoria própria (2011).

A árvore de decisão apresentada na Figura 18 indica que, foram utilizadas apenas duas métricas para que o software reconhecesse o padrão do rio sobre o total das classes treinadas. Dentre essas métricas a *Class Area* e a *Patch Density* eram anteriormente implementadas.

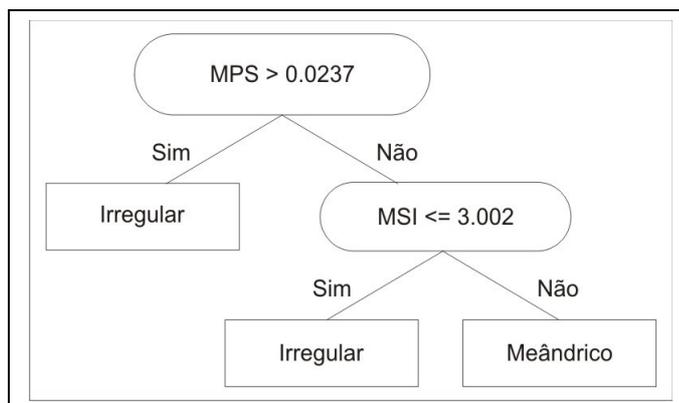
Figura 19 – Árvore de decisão (C) de 1989.



Fonte: Autoria própria (2011).

Nesta árvore de decisão ilustrada na Figura 19, pode-se interpretar que novamente com apenas duas métricas o GeoDMA reconheceu o padrão do rio sobre o total das classes treinadas. Dentre essas métricas a *Total Edge* e a *Number of Patches* foram implementadas para esta pesquisa.

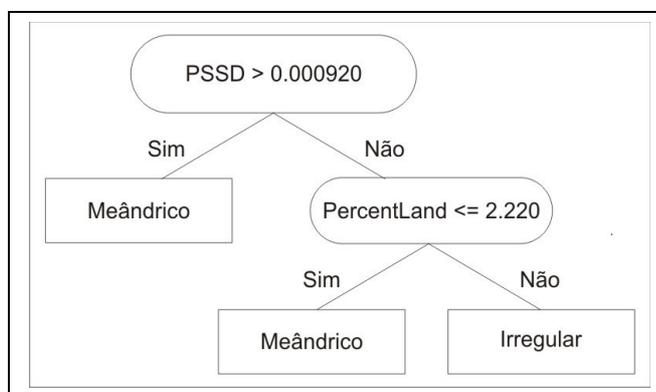
Figura 20 – Árvore de decisão (A) de 2008.



Fonte: Autoria própria (2011).

De acordo com a Figura 20 foram utilizadas duas métricas para que o software reconhecesse o padrão do rio sobre o total das classes treinadas. Dentre essas métricas a *Mean Patch Size* e a *Mean Shape Index* eram anteriormente implementadas.

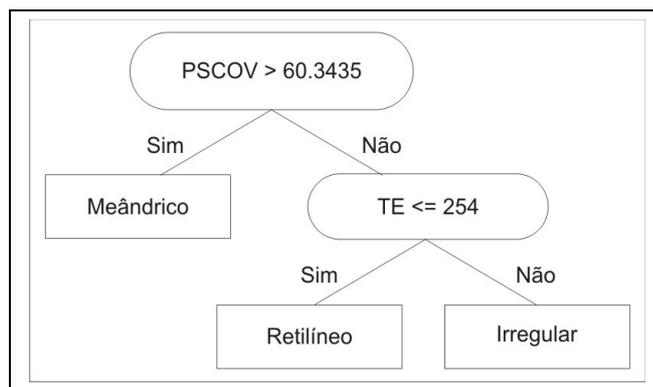
Figura 21 – Árvore de decisão (B) de 2008.



Fonte: Autoria própria (2011).

A Figura 21 ilustra que foram utilizadas apenas duas métricas para que o GeoDMA reconhecesse o padrão do rio sobre o total das classes treinadas. Dentre essas métricas a *Patch Size Standard Deviation* e a *Percentland* eram anteriormente implementadas no GeoDMA.

Figura 22 – Árvore de decisão (C) de 2008.



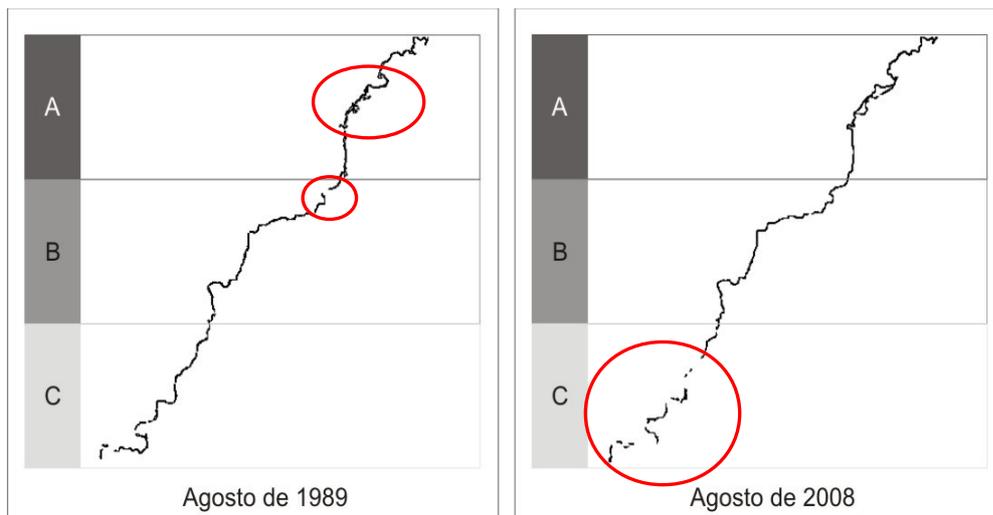
Fonte: Autoria própria (2011).

A árvore de decisão da Figura 22 ilustra que para realizar a mineração foram utilizadas apenas duas métricas para o reconhecimento do padrão do rio sobre o total das classes treinadas. Dentre essas métricas a *Patch Size Coefficient of Variation* era anteriormente implementada no software e a *Total Edge* foi uma métrica da paisagem inserida a partir desta pesquisa.

Do total das minerações realizadas para a detecção do padrão do rio, as métricas da paisagem implementadas no GeoDMA para esta pesquisa estiveram presentes em 50% dos resultados gerados. Percebe-se que o classificador C4.5 escolheu com eficiência quais as métricas que melhor adequavam-se a descoberta do padrão fluvial, assim foram geradas seis árvores de decisão para os dois períodos analisados.

Com base nestas informações, o objetivo de observar as mudanças no cenário estudado foi alcançado. Isto foi possível, ao selecionar os polígonos da imagem por textura e cor por meio do uso das características espectrais da banda 4 que enfatiza ser favorável à observação de corpos hídricos. Tal fato foi possível através da análise espacial, percebendo-se a alteração do nível de água nesse manancial. A Figura 23 ilustra o padrão do rio para cada período minerado:

Figura 23 – Percepção do desnível fluvial através da segmentação da imagem.



Fonte: Autoria própria (2011).

Durante a pesquisa, esta percepção foi possível ao notar que a segmentação realizada pelo o algoritmo *Region Growing* resultou em uma interrupção da segmentação nas imagens. Ao realizar a reversão da seleção dos polígonos classificados para os polígonos de toda a paisagem, o cenário acima de como o rio encontrava-se para cada período foi gerado. O trecho A encontrou-se mais hachurado para 1989 indicando mais concentração fluvial. O trecho B encontrou-se com uma falha de segmentação mínima no período de 1989, mantendo quase o mesmo padrão e nível fluvial. No trecho C foi onde obteve-se mais mudança fluvial, pois claramente observou-se uma grande falha de segmentação nas imagens, indicando uma mudança significativa no nível fluvial. Considerar parâmetros de segmentação para distância euclidiana de valor 33 e área mínima de valor 15.

Assim, as possíveis tomadas de decisões de acordo com a interpretação do especialista no domínio poderiam ser: realização de trabalhos de recuperação do rio, verificação do que ocorre com o desnível fluvial, por exemplo: como está a migração dos animais neste período? Qual o possível comportamento deles com mais ou menos quantidade de água? Pelo nível observado e os dados tabulados seria possível detectar o índice de degradação ambiental da vegetação ribeirinha? Estas e outras perguntas podem ser geradas, almejando consequentemente auxiliar na melhoria do trabalho de monitoramento da área pesquisada através de tecnologias de geoprocessamento.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesta pesquisa foi possível constatar que a utilização de geotecnologias pode ser aplicada de forma eficiente para a gestão de recursos hídricos, pois pioneiramente a detecção dos padrões do Rio Mossoró através da técnica de mineração de imagens de Sensoriamento Remoto, possibilitou auxiliar na análise do domínio hídrico, aumentando a percepção das mudanças da paisagem. A mineração de imagens foi executada através do software GeoDMA.

A mineração foi realizada nas imagens de 1989 e 2008, visando caracterizar o Rio Mossoró usando métricas da paisagem, auxiliando o monitoramento das águas superficiais desse rio, uma vez que o estudo desta hidrologia envolve uma série de informações que estão inerentes às imagens e podem auxiliar na supervisão de suas águas superficiais.

Este fato é importante, pois conhecer o rio de maneira mais detalhada aperfeiçoa as tomadas de decisões sobre o uso do manancial, visto que esse auxílio computacional é uma alternativa estratégica ao conhecimento deste espelho d'água que encontra-se na região do semiárido nordestino brasileiro e possui significativa escassez de recursos hídricos, necessitando de um monitoramento periódico.

Diante dessas demandas, analisou-se especialmente essas imagens utilizando-se as características espectrais da banda 4 da imagem (infra vermelho), que por suas características permitiu perceber a possível diminuição do nível de água entre um período e outro. Este fato é relevante, pois validou realidades distintas do padrão fluvial da paisagem observada.

A contribuição computacional referente à implementação de métricas da paisagem no GeoDMA foi possível, pois foram adicionadas três métricas ao plugin: IJI, NP e TE. As duas últimas detectaram satisfatoriamente o padrão fluvial, pois encontram as três classes treinadas: retilíneo, meândrico e irregular, sendo possível extrair o padrão fluvial.

Algumas das limitações dessa pesquisa estão relacionadas à aquisição do banco de dados, pois as imagens não estavam disponíveis no site do INPE, que as disponibiliza gratuitamente, o que demandou mais tempo do que o previsto. Computacionalmente, a redução do tamanho das células em 50 x 50m comprometia a extração do padrão fluvial, enquanto que o alongamento das células para o tamanho de 150 x 150m extrapolava a quantidade das classes em cada uma dessas células, dificultando o treinamento do algoritmo para distinção das classes, prejudicando a extração do padrão.

Como trabalhos futuros, podem ser introduzidas mais métricas da paisagem no GeoDMA. Além disso, outras pesquisas podem ser realizadas utilizando modelos

hidrológicos distintos de bacias hidrográficas para avaliação de mudanças, visando analisar os impactos sofridos pelos mananciais.

A mineração de imagens utilizando o GeoDMA e a metodologia desenvolvida, pode ser aplicada sobre outros rios em qualquer lugar do mundo, beneficiando pesquisadores por todo o globo terrestre que necessitem investigar mananciais através de imagens de satélites.

## REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, V.S. de, SANTOS, J. P. dos, ARAÚJO, A. L. C. **Monitoramento das Águas do rio Mossoró/RN, no período de abril/2005 a julho/2006.** Holos, Natal, Brasil. 4-41 p, 23 de maio 2007.
- ANTONELI, V., THOMAZ, E.L. **Caracterização do meio físico da bacia do Arroio Boa Vista, Guamiranga. Rev. Caminhos da Geografia, Uberlândia, v.8, n. 21, p. 46-58, jun, 2007.**
- BARRELLA, W. **As relações entre as matas ciliares os rios e os peixes. In: RODRIGUES, R.R.; LEITÃO FILHO; H.F. (Ed.) Matas ciliares: conservação e recuperação. 2.ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2001.**
- BOGORNY, V., PALMA, A. T., ENGEL, P.M., ALVARES, L.O., Weka-GDPM – **Integrating Classical Data Mining Toolkit to Geographic Information Systems In: SBBD Workshop on Data Mining Algorithms and Applications(WAAMD'06), Florianopolis, Brasil, Out. 16-20, p. 9-16, 2006.**
- BOLÓS, M., de, BOVET PLA, M. del T., GARCÍA, X. E., VILA, R. P., VILÁS, J., JORDIR, S. **Manual de Ciencia del Paisaje. Teoria, métodos y aplicaciones.** Barcelona, España: Masson, S.A., 273 p, 1992.
- BORGES, K. A. V., LAENDER, C. A. D. **Bancos de Dados Geográficos. Modelagem de dados geográficos.** MundoGEO, 2005.
- CÂMARA, G., MONTEIRO, A.M., FUCKS, S.D., CARVALHO, M.S. **Análise Espacial e Geoprocessamento.** São José Dos Campos: Inpe, 2002.
- CÂMARA, G., DAVIS, C., MONTEIRO, A.M.V. **Introdução à ciência da geoinformação.** São José dos Campos: INPE, 2001.
- CÂMARA, G. **Representação Computacional de Dados Geográficos.** In: CÂMARA, G.; DAVIS, C., CASANOVA, M. A., QUEIROZ, G.R.D. Bancos de Dados Geográficos: Curitiba, Editora MundoGEO, 2005.
- Canada Centre for Remote Sensing. **Fundamentals of Remote Sensing.** Acesso em: <[www.ccrs.nrcan.gc.ca/ccrs/learn/tutorials/fundam/fundam\\_e.html](http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/ccrs/learn/tutorials/fundam/fundam_e.html)>. Maio de 2011.
- CARRÃO, H. **Os efeitos da escala na caracterização da paisagem: modelação e avaliação das transformações na representação da ocupação de solo.** Trabalho Fim de Curso, Universidade de Évora, Évora, 2002.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia Fluvial: o canal fluvial.** 2a. ed., São Paulo: EdgardBlücher, 313 p, 1981.
- COUTO, P. **Análise fatorial aplicada a métricas da paisagem definidas em FRAGSTATS.** Investigação Operacional 24: 109-137 p, 2004.

DEPLOUX, M. **Métodos em questão: ecossistema e paisagem**. Instituto de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 23 p, 1974.

DIAS, J. **As potencialidades paisagísticas de uma região cárstica: o exemplo de Bonito, MS**. Presidente Prudente. Dissertação (Mestrado em Geografia). Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade Estadual Paulista, 1998.

DUNNING, J. B., DANIELSON, J. B., PULLIAM, H. R. **Ecological processes that affect populations in complex landscapes**. - *Oikos* 65: 169-175 P, 1992.

ELOIR, M., TONIAL, T.M., ZANG, N., HOLZSCHUH, M.L., MARKOSKI, P. R., RITTERBUCH, M.A. **Caracterização da hidrografia de bacias da região norte do estado do Rio Grande do Sul**. Revista de Pesquisa e Pós Graduação – Santo Ângelo, 2003.

ESCADA, M. I. S. **Evolução de Padrões de Uso da Terra na Região Centro-Norte de Rondônia**. Tese – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2003.

ESTER, M., KRIEGEL, H.P., SANDER, J. **Algorithms and applications for spatial datamining**. In: H. J. Miller and J. Han (eds.) *Geographic Data Mining and Knowledge Discovery*, London: Taylor and Francis, 160-187 p, 2001.

FANG, C., WEN, H., YIRONG, W., POTTIER, E. **The comparison of the V-Fold and the Monte-Carlo cross validation to estimate the number of clusters for the fully polarimetric SAR data segmentation**. *IEEE*, 2485-2486 p, 2007.

FARINA, A. **Landscape Ecology in Action**. Kluwer Academic Publishers Dordrecht, 317 p, 2000.

FARINA, A. **Principles and methods in landscape ecology**. New York: Chapman & Hall Ltda. 235 p, 1998.

FAYYAD, U., PIATESKY, G., SMYTH, P., UTHURUSAMY, R. **Advances in Knowledge Discovery and Data Mining**. Cambridge. 560 p, 1996.

FONSECA, L. M. G. **Processamento Digital de Imagens**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Junho 2000.

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

FORMAN, R. T. T. **Land mosaics: the ecology of landscapes and regions**. Cambridge University. 632 p, 1995.

FLORENZANO, T.G. **Geomorfologia: Conceitos e Tecnologias atuais**. São Paulo: Editora Oficina de textos. 318 p, 2008.

FROHN, R.C. **Remote Sensing for landscape ecology: New metrics indicators for monitoring, modeling, and assessment of ecosystems**. Boca raton: Lewis Publisher. 99 p, 1998.

GERGEL, S.E., TURNER, M.G., MILLER, J.R., MELACK, J.M., STANLEY, E.H. **Landscape indicators of human impacts to riverine systems.** 118–128 p, 2002.

GUERRA, A.J.T. **Dicionário Geológico-Geomorfológico.** Rio de Janeiro: IBGE. 446 p, 1987.

GUIDINI, M. P., RIBEIRO, H.C. **Utilização da biblioteca TerraLib para algoritmos de agrupamento em Sistemas de Informações Geográficas.** VIII Brazilian Symposium on GeoInformatics, GeoInfo. Campos do Jordão, SP, Brazil, 2006.

GUSTAFSON, E. **Quantifying landscape spatial pattern: what is the state of the art?** *Ecosystems. Ecological diversity.* John Wiley, New York, 1998.

GUSTAFSON, E., PARKER, G. **Relationship between landcover proportion and indices of landscape spatial pattern.** *LandscapeEcology* 7: 101-110 p, 1992.

HAN, J., KOPERSKI, K., STEFANOVIC, N. **GeoMiner: A System Prototype for SpatialData Mining in: SIGMOD Special Interest Group on Management Of Data,** Arizona,EUA, 553-556 p, 1997.

KORTING, T.S., FONSECA, L.M., ESCADA, M.I.S, SILVA, F.C. da, SILVA, M.P.S. dos. **GeoDMA - A novel system for spatial data mining.** Data Mining Workshops, 2008. ICDMW '08. IEEE International Conference on. Pisa, Italy. 2008.

KORTING, T.S., FONSECA, L.M.G., ESCADA, M.I.S., CÂMARA, G. **GeoDMA - Um sistema para mineração de dados de Sensoriamento Remoto.** SBSR - Brazilian Remote Sensing Symposium. Natal, RN, Brazil. 2009.

KORTING, T.S., FONSECA, L. M., CÂMARA, G. **Interpreting images with GeoDMA.** GEOBIA. Ghent, Belgium. 2010.

LAGE, C.S. **Geografia e Hidrografia: Geral e do Brasil.** Salvador. FTC EaD - Faculdade de Tecnologia e Ciências - Ensino a Distância, 2002.

LEITE, E. F., ROSA, R. **Estudos da Geografia Física em Bacias Hidrográficas sob a ótica da paisagem integrada.** Acesso em: [www.geo.ufv.br/simposio/simposio/trabalhos/trabalhos.../eixo4/007.pdf](http://www.geo.ufv.br/simposio/simposio/trabalhos/trabalhos.../eixo4/007.pdf). 2009.

LIN, Y., LIN, Y. B., WANG, Y. T., HONG, N.M. **Monitoring and Predicting Land-use Changes and the Hydrology of the Urbanized Paochiao Watershed in Taiwan Using Remote Sensing Data, Urban Growth Models and a Hydrological Model.** *Sensors,* Taipei, n. , p.1-23, 4 fev. 2008.

LISBOA FILHO, J. **Modelagem de Bancos de Dados Geográficos.** In: Ladeira M. & Nascimento M.E.M. (eds.). III Escola Regional de Informática do Centro-Oeste. Brasília- DF: SBC - Sociedade Brasileira de Computação. 137-171 p , 2000.

LISBOA FILHO, J. **Modelos Conceituais de Dados para Sistemas de Informações Geográficas.** Instituto de Informática, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto

Alegre, Exame de Qualificação. 121 p, 1997.

McGARIGAL, K., MARKS, B.J. **FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure.** 132 p, 2002.

McGARIGAL, K., CUSHMAN, S.A., NEEL, M.C., ENE, E. **FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps.** Acesso em: [www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html](http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html). Junho de 2011.

McGARIGAL, K. **Landscape pattern metrics, in Encyclopedia of Environmentrics,** A.H. El-Shaarawi and W.W. Piegorsch, Editors. John Wiley & Sons: Sussex, England. 1135-1142 p, 2002.

MALERBA, D., ESPOSITO, F., LANZA, A., LISI, F. A. **Machine learning for information extraction from topographic maps.** In: H. J. Miller and J. Han (eds.). Geographic Data Mining and Knowledge Discovery, London: Taylor and Francis, 2001.

MARTINS, E.S.P.R., MENESCAL, R.A., SCHERER-WARREN, M. **Mapeamento dos Espelhos d'água do Brasil.** Simpósio brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis – SC. 969 – 976 p, 2007.

MATOS, P.P.O. **Ensino do Sensoriamento Remoto no curso de aperfeiçoamento de hidrografia para oficiais da Marinha do Brasil.** Centro de Hidrografia da Marinha Niterói – RJ, 2009.

METZGER, J.P. O que é ecologia da paisagem? São Paulo, SP. 15 p, 2001.

MILLER, H. J., HAN, J. **Geographic data mining and knowledge discovery: An overview.** In: H. J. Miller and J. Han (eds.) Geographic Data Mining and Knowledge Discovery, London, 2001.

MILLER, H., HAN, J. **Geographic data mining and knowledge discovery: An overview.** In H. Miller and J. Han (Eds.), Geographic data mining and knowledge discovery 1–26 p, 2009.

MILNE, B., TURNER, M., ZYGGMUNT, B., CHRISTENSEN, S., DALE, V., GRAHAM, R. **Indices of landscape pattern.** Landscape Ecology. 153-162 p, 1988.

MORAES, E.C. **Fundamentos de Sensoriamento Remoto.** São José dos Campos. 30 p, 2002.

NEVES, N., FREIRE, M., CABEZAS, J., BUYOLO, T., FERNÁNDEZ, L., FERNÁNDEZ, I., BATISTA, T. **GESTA – Concepção e Desenvolvimento do modelo de dados espaciais.** Junta de Estremadura (Eds.). Badajoz. 253-280 p, 2006.

NEWSAM, S., BHAGAVATHY, S., FONSECA, L., KENNEY, C., MANJUNATH, B. **Object-Based Representations of Spatial Images,** in Acta Astronautica, v. 48, n. 5-12, 2001. p. 567-577.

O'NEILL, R., KRUMMEL, J., GARDNER, R., SUGIHARA, G., JACKSON, B., MILNE, B.,

TURNER, M., ZYGMUNT, B., CHRISTENSEN, S., DALE, V., GRAHAM, R.. **Indices of landscape pattern.** Landscape Ecology. 153-162 p, 1988.

PIVELLO, V.R., METZGER, J.P. **Diagnóstico da pesquisa em Ecologia de Paisagens no Brasil (2000-2005).** Biota Neotrop. vol. 7, no. 3. Acesso em: <http://www.biotaneotropica.org.br/v7n3/pt/abstract?point-of-view+bn00107032007>. Junho de 2011.

QUINLAN, R. **C4.5: Programs for Machine Learning.** San Francisco: Morgan Kaufmann, 1993.

ROSIM, S., MONTEIRO, A.M.V., RENNÓ, C.D., SOUZA, R.C.M de, SOARES, J.V. **TERRAHIDRO – Uma plataforma computacional para o desenvolvimento de aplicativos para a análise integrada de recursos hídricos.** SBSR – Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Belo Horizonte, Brasil, 2003.

SAITO, E.A., KORTING, T.S., FONSECA, L.M.G., ESCADA, M.I.S. **Mineração em Dados Espaciais de Desmatamento do PRODES utilizando métricas da paisagem – Caso de Estudo Município de Novo Progresso – PA, 2010.** III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Recife, Brasil. 001-009 p, 2010.

SILVA, M.P.S. dos., CÂMARA, G. **Mineração de Dados em Imagens: da Arquitetura à Ontologia.** 2003.

SILVA, M.P.S. dos. **Mineração de Padrões de Mudança em Imagens de Sensoriamento Remoto.** São José Dos Campos, 2006.

TEODORO, V.L.I., TEIXEIRA, D., COSTA, D.J.L., FULLER, B.B. **Conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local.** Rev. UNIARA, Araraquara, n. 20, 137-155 p, 2007.

TRICART, J.J.L. **Paysage et écologie. Revue de Géomorphologie dynamique: géodynamique externe.** Études intégrée du milieu naturel, XXVIII, n.3, 81-95 p, 1979.

TURNER, M.G., GARDNER, R.H., O'NEILL, R.V. **Landscape ecology: in the theory and practice, pattern and process.** New York: Springer-Verlag. 401 p, 2001.

TURNER, M.G. **Landscape ecology: the effect of pattern on process.** Annual Review of Ecology and Systematic 20: 171-197 p, 1989.

TURNER, M.G., COSTANZA, R., SKLAR, F.H. **Methods to evaluate the performance of spatial simulation models.** Ecological Modeling. 48:1-18 p, 1989.

TURNER, M.G., GARDNER, R.H. **Quantitative Methods in Landscape Ecology.** Springer-Verlag, New York NY, 1991.

TURNER, M.G. **Spatial and temporal analysis of landscape patterns.** Landscape Ecology, 4, 21-30 p, 1990.

UUEMAA, E. **Landscape Metrics and Indices: An Overview of Their Use in Landscape**

**Research.** Living reviews in landscape research, Tartu, n. 3, 1-28 p, 2009.

VOLOTÃO, C. F. de SÁ. **Trabalho de análise espacial: Métricas do Fragstats.** São Paulo, 1998.

WIENS, J.A. **Spatial scaling in ecology.** Functional Ecol., 3, 385-397 p, 1989.

WIENS, J., MOSS, M. **Studies in landscape ecology: issues and perspectives in landscape ecology.** Cambridge University, Cambridge. 2005.

WIENS, J.A. **Toward a unified landscape ecology.** In **Studies in landscape ecology: issues and perspectives in landscape ecology** (J. Wiens & M. Moss, eds). Cambridge University. 365-373 p, 2005.

ZANCOPE, M.H de. **Estudo dos padrões de canal fluvial do Rio Mogi Guaçu/SP.** Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, SP. (Dissertação de Mestrado), 90 p, 2004.

ZHANG, J., HSU, W., LEE, M. **Image Mining: Trends and Developments.** Kluwer Academic, 2002.