



Revista Brasileira de Cartografia (2013) N° 65/1: 35-52  
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto  
ISSN: 1808-0936

## **GEOTECNOLOGIAS APLICADAS AO DIAGNÓSTICO GEOAMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JAIBARAS NO SEMIÁRIDO CEARENSE**

*Geotechnology Applied to the Geoenvironmental Diagnosis of the Jaibaras River  
Basin Located in the Semiarid Region of Ceara State*

**Daniel Dantas Moreira Gomes<sup>1</sup>; Cleyber Nascimento de Medeiros<sup>2</sup>;  
Emanuel Lindemberg Silva Albuquerque<sup>2</sup>; Cynthia Romariz Duarte<sup>1</sup>  
& César Ulisses Vieira Veríssimo<sup>1</sup>**

**<sup>1</sup>Universidade Federal do Ceará – UFC  
Programa de Pós-Graduação em Geologia**

Campus do Pici - Bloco 912  
CEP 60455-760 - Fortaleza - CE  
daniel.dm.gomes@gmail.com, cynthia.duarte@ufc.br, verissimo@ufc.br

**<sup>2</sup>Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará – IPECE  
Gerência de Estatística, Geografia e Informação - GEGIN**

Av. General Afonso Albuquerque Lima, S/N - Cambéba - CEP: 60.839-900 - Fortaleza - CE  
cleyber.medeiros@ipece.ce.gov.br, bergalbu@yahoo.com.br

*Recebido em 24 de junho, 2011/ Aceito em 15 de novembro, 2011  
Received on June 24, 2011/ Accepted on November 15, 2011*

### **RESUMO**

A bacia hidrográfica do rio Jaibaras, no Estado do Ceará / Brasil, apresenta uma diversidade paisagística expressiva, tendo em vista que se localiza em uma região de semi-aridez, que contrasta com a paisagem da serra subúmida da Meruoca e do planalto da Ibiapaba. Objetiva-se nesse estudo avaliar, com o auxílio das técnicas de geoprocessamento, os sistemas ambientais na mencionada bacia hidrográfica, a partir da sistematização e da inter-relação que se dá entre Sociedade-Natureza na perspectiva do uso racional dos geoambientes, levando em consideração as potencialidades e vulnerabilidades. Conclui-se que o diagnóstico geoambiental permite uma análise integrada da natureza, frente aos mais diversos processos de uso e ocupação da terra.

**Palavras chaves:** Geotecnologias, Diagnóstico Geoambiental, Rio Jaibaras.

### **ABSTRACT**

The Jaibaras River Basin, in the State of the Ceara, Brazil, presents an expressive landscape diversity, with a view that is located in a semi-arid region, which contrasts with the mountain landscape of the sub-humid Meruoca and Ibiapaba plateau. The objective of this paper is evaluate, with aid of the techniques of geomatic, the environmental systems in the Jaibaras river Basin, based on the systematization and interrelationship that exists between society and nature in the perspective of the rational use of the geoenvironment, taking into account the capabilities and vulnerabilities of the environment. One concludes that the diagnosis allows a geoenvironmental integrated analysis of nature from the most

diverse processes and use land occupation.

**Keywords:** Geoprocessing, Geo-environmental Diagnosis, Jaibas River.

## 1. INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica do rio Jaibas, no Estado do Ceará/Brasil, apresenta uma diversidade paisagística expressiva, tendo em vista que se localiza em uma região de semi-aridez, que contrasta com a paisagem da serra subúmida da Meruoca e do planalto da Ibiapaba, evidenciando que seus recursos naturais são bem particulares ao contexto geoambiental ao qual se encontra inserido.

Nesse sentido, objetiva-se avaliar, com o auxílio das técnicas e ferramentas de sensoriamento remoto e sistema de informações geográficas, os sistemas ambientais na mencionada bacia hidrográfica a partir da sistematização e da inter-relação que se dá entre Sociedade-Natureza na perspectiva do uso racional dos geoambientes, levando em consideração as suas potencialidades e vulnerabilidades que são materializadas, principalmente, na dinâmica e na organização socioambiental.

A partir desse viés de análise e reflexão, busca-se abordar a concepção integrativa que deriva do estudo unificado das condições naturais em que vive o homem e onde se adaptam os demais seres vivos (SOUZA, 2000), corroborando a necessidade do uso e gestão racional dos recursos hídricos na área que compreende o objeto de estudo (Fig. 1).

Propõe-se, portanto, a sistematização conceitual, a fundamentação teórica e as operações técnicas orientadas a partir da análise sistêmica, buscando abordar não somente a caracterização físico-geográfica da bacia hidrográfica, mas objetivando uma avaliação dos sistemas ambientais diante do contexto ecodinâmico e da análise integrada da paisagem, frente aos mais diversos processos de uso e ocupação da terra.

Para Cunha e Guerra (1996), um dos principais fatores que a degradação e deterioração da qualidade ambiental têm provocado é o desenvolvimento de processos erosivos acelerados. A análise integrada de dados geológicos, geomorfológicos, pedológicos, fitoecológicos, climatológicos e de uso e ocupação, juntamente com a interpretação de imagens de sensoriamento remoto e um sistema de informações geográficas, auxiliam na análise da degradação ambiental e facilitado na

identificação de áreas mais propícias aos processos erosivos.

Vale salientar que de acordo com Cunha e Guerra (*op. cit*) a degradação ambiental não pode ser analisada apenas sob o ponto de vista físico, uma vez que deve ser entendida de forma global, integrada, sistêmica e holística, ou seja, considerando em sua totalidade as relações existentes entre a sociedade e natureza.

Para Tricart (1977), as modificações na cobertura vegetal, mesmo que esta, seja totalmente ou parcialmente removida, provoca alterações no equilíbrio do ambiente, onde essas alterações aceleram os processos de erosão, assoreamento dos rios, aumento da temperatura local, redução da recarga d'água de rios e aquíferos, aumento de incêndios, entre outros eventos, isso se deve, primordialmente, pela importância da cobertura vegetal na manutenção do equilíbrio ambiental.



Fig. 1 - Mapa de localização da área de estudo. Fonte: Elaborado pelos autores.

O estudo da avaliação dos sistemas ambientais na bacia hidrográfica do rio Jaibaras fundamentou-se no método sistêmico e na análise geossistêmica desenvolvida por Bertrand (1972), a análise da erosão foi realizada adaptando a metodologia desenvolvida por Crepani *et al.* (1996), no conceito de Ecodinâmica de Tricart (1977), onde buscou-se determinar a vulnerabilidade/estabilidade aos processos erosivos, através da integração dos dados de geologia, geomorfologia, clima, solo, cobertura vegetal e uso da terra. Nesse sentido, o manejo inadequado desses recursos, acima de sua capacidade de suporte, tem propiciado condições de degradação ambiental.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Material

Foram empregadas as imagens do satélite LANDSAT 5 (Fig. 2), sensor TM, órbita ponto 218/63, que apresenta um pixel de 30 metros nas bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 e recobrem a área de estudo, datadas de 25/6/1985, 11/09/1996 e 02/11/2009, sendo obtidas no catálogo de imagens do INPE (2011), e corrigidas geometricamente pelas imagens *geocover*, adquiridas no site da NASA - *National Aeronautics and Space Administration* (<https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/>).

Foi feita posteriormente uma pesquisa em busca dos *softwares* que atendessem os objetivos propostos, citando a seguir os que foram utilizados:

- Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas - SPRING 4.3.3 e 5.1.3. Desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas

Espaciais – INPE, *software* livre, onde pode ser baixado pelo site <[www.inpe.br](http://www.inpe.br)>.

- ARCGIS 9.3 - Desenvolvido pelo *Environmental Systems Research Institute - ESRI*, *software* proprietário, sendo usada a licença pertencente ao Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará – IPECE.

### 2.2 Métodos

Em busca de uma melhor metodologia para o desenvolvimento do trabalho, os procedimentos metodológicos utilizados foram divididos em seis fases sequenciais (Fig. 3), de forma a dar maior integridade e facilitar na análise dos resultados obtidos.

#### 2.2.1 Fase I - Levantamento bibliográfico e geocartográfico

A pesquisa teve início com o levantamento de material bibliográfico, de dados geocartográficos e de imagens de satélite da área de estudo em diversas instituições com atividades voltadas ao meio



Fig. 3 - Fluxograma das etapas metodológicas. Fonte: Elaborado pelos autores.

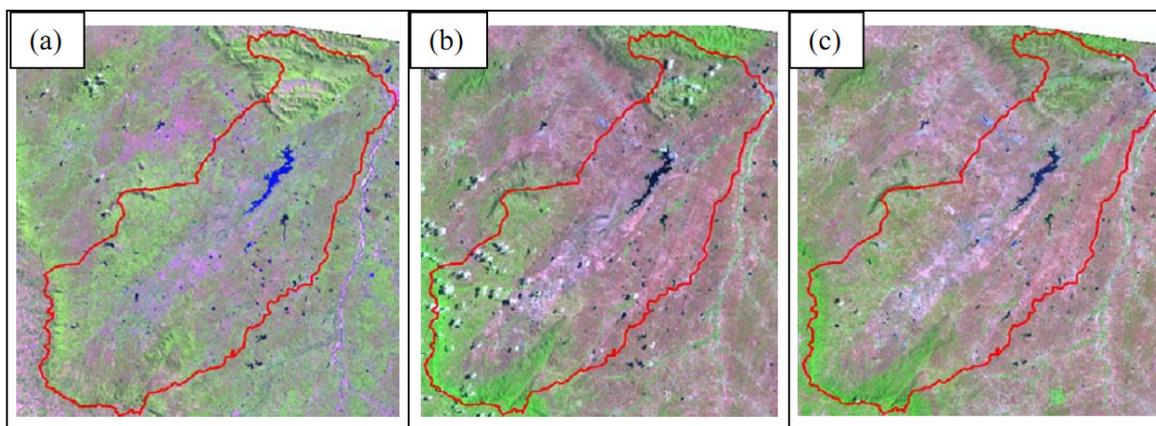


Fig. 2 - Imagens TM/LANDSAT-5, composição RGB 543, datadas de 25/6/1985 (a), 11/09/1996 (b) e 02/11/2009 (c), com os limites da área em estudo. Fonte: Elaborado pelos autores.

ambiente no Estado do Ceará, objetivando dar sustentação teórica à pesquisa, bem como empregar bases de dados primários que colaboraram na montagem do banco de dados geográfico e na caracterização da área de estudo.

### 2.2.2 Fase II - Criação do banco de dados e integração da Base Cartográfica

O material geocartográfico foi organizado num banco de dados geográfico no *software* SPRING 4.3.3, que permite a integração, o armazenamento e as operações em SIG destes dados. O banco de dados elaborado permite criar vários projetos distintos e independentes, podendo ser integrados quando necessário.

Como padrão para todos os projetos, foi escolhido o sistema de gerenciamento de banco de dados *dBASE*, devido a capacidade de armazenamento de dados, chegando a ultrapassar os 4 GB, que é o limite de outros gerenciadores. Foi determinado o sistema de projeção Universal Transverso de Mercador (UTM), Datum SAD 69, como padrão para o banco de dados.

### 2.2.3 Fase III - Processamento Digital de Imagens, Ajuste da Base Cartográfica e Mapeamento Prévio

Para a adequação dos documentos cartográficos adquiridos no levantamento geocartográfico da pesquisa, o efeito limitante do fator de escala foi levado em consideração, observando-se diversas escalas distintas em todas as classes temáticas da cartografia.

Objetivando a adequação e a padronização da base cartográfica, foi determinada para a pesquisa a escala de 1:100.000, ressaltando que os dados que não se adequaram a escala determinada tiveram que ser reinterpretados e ajustados a mesma.

As técnicas de Processamento Digital de Imagens (PDI) foram aplicadas para facilitar a extração de informações contidas nas imagens em estudo. As técnicas dividiram-se em atividades de pré-processamento e processamento. O pré-processamento foi empregado nas imagens para recorte da área, correção geométrica e calibração radiométrica (MARKHAM & BARKER, 1987) enquanto o processamento foi aplicado visando realçar as informações relativas à estrutura, fraturas, compartimentação geológica, geomorfológica e vegetação.

### 2.2.3.1 Pré-Processamento Digital da Imagem

Com o georreferenciamento, buscou-se corrigir geometricamente as imagens LANDSAT 5, determinando o sistema de projeção Universal Transverso de Mercador (UTM) no Datum SAD 69, como padrão para todas as cenas do estudo, utilizando como referência a imagem Geocover 2000 para correção. As imagens LANDSAT 5 estão com o sistema de projeção UTM com Datum WGS84 Norte e o Datum adotado neste trabalho é o SAD69. Assim, antes de iniciar o processo de georreferenciamento, foi necessário reprojeter essa imagem, etapa realizada no *software* SPRING 4.3.3.

A correção foi efetuada com base na conversão dos números digitais (ND) para valores de radiância, empregando-se a Equação 1, proposta por Markham e Barker (1987).

$$L_{\lambda} = a + \frac{(b-a)}{255} \times ND \quad (1)$$

Onde:

$L_{\lambda}$  é a radiância espectral;

$a$  é a radiância espectral correspondente ao ND mínimo;

$b$  é a radiância espectral correspondente ao ND máximo;

ND é o número digital do pixel considerado.

### 2.2.3.2 Processamento Digital da Imagem

As imagens corrigidas radiometricamente foram integralizadas no projeto Imagens de satélite usando o *software* SPRING 4.3.3, onde foram submetidas às operações de melhoria de contraste, filtragem, operação entre bandas, segmentação, classificação e fatiamento.

Com o objetivo de melhorar a qualidade visual das imagens e facilitar as interpretações, as imagens empregadas foram submetidas ao realce de contraste linear. Através da manipulação dos histogramas, possibilitou-se a discriminação visual entre as diversas feições geológicas e geomorfológicas.

A aplicação das técnicas de filtragem passa-alta serviu para realçar os valores de alta frequência das imagens, onde as feições identificadas com

esses filtros resultam da modificação dos níveis de cinza, valorizando os detalhes e características geológicas, como lineamentos, falhas e fraturas.

Após a correção geométrica e a calibração radiométrica, foram calculados os índices de vegetação, pelo método da diferença normalizada, usando a ferramenta “Operações Aritméticas” do *software* SPRING 4.3.3 (CÂMARA & MEDEIROS, 1996).

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) é sensível em captar resposta espectral da vegetação (GOMES *et al.*, 2011), que possui alta reflectância na banda do infravermelho próximo. Este índice foi gerado a partir da imagem LANDSAT TM 5, utilizando-se Equação 2 e testados diversos valores de ganho e *offset* sendo aplicado respectivamente 185 e 125 (GOMES, 2010).

$$NDVI = \text{ganho} * [(B_4 - B_3) / (B_4 + B_3)] + \text{offset} \quad (2)$$

Onde:

$B_4$  é a reflectância no infravermelho próximo;

$B_3$  é a reflectância no vermelho.

A ferramenta “Operação Aritmética” do SPRING cria um novo plano de informação contendo o resultado da operação algébrica, esse NDVI recebe o nome de NDVI-(OP5), tendo sido gerado uma imagem NDVI para cada ano em estudo (1985, 1996 e 2009), permitindo assim caracterizar sua distribuição espacial e avaliar sua evolução ao longo do tempo.

Efetivou-se uma classificação supervisionada por região baseada na definição de áreas de treinamento para as classes temáticas, definidas no modelo de dados. Para realizar a classificação, usou-se o algoritmo classificador por histograma, implementado no programa SPRING 4.3.3, que adquire amostras do treinamento para estimar os agrupamentos (*clustering*) de probabilidade para as 8 classes determinadas pelo analista, onde ao final, todas as regiões ficaram associadas a uma classe definida pelo classificador.

#### 2.2.4 Fase IV - Trabalhos de campo

Nos trabalhos de campo, a bacia em estudo foi percorrida, com o apoio de um receptor do Sistema de Posicionamento Global – GPS, de uma câmera fotográfica, com o auxílio das imagens

LANDSAT 5 TM, mapas altimétricos, facilitando assim a análise e levantamento das classes geológica, geomorfológica, perfis de alteração e determinação dos locais a serem visitados.

Para o levantamento geológico foi levada em consideração a base cartográfica da CPRM (2003) e as imagens tratadas na fase III, onde se buscou o reconhecimento e atualização das principais unidades litoestratigráficas, determinando os limites entre as unidades, a existência de afloramentos, presença de fraturas e coleta das amostras inderformadas de solo.

#### 2.2.5 Fase V - Análise dos aspectos naturais da bacia hidrográfica

A partir do levantamento bibliográfico, geocartográfico, atualização da base cartográfica, imagens de sensoriamento remoto e trabalhos em

Quadro 1 - Classes de Vulnerabilidade e/ou Estabilidade à Erosão.

Grau de Vulnerabilidade	Relação Pedogênese/Morfogênese	Valor
Ambiente Estável	Prevalece a Pedogênese	1,0 a 1,3
Estabilidade Moderada	Modificações na Estabilidade inicial	1,4 a 1,7
Ambiente em Equilíbrio Morfodinâmico	Equilíbrio Pedogênese/Morfogênese	1,8 a 2,2
Vulnerabilidade Moderada	Transição do equilíbrio para Morfogênese	2,3 a 2,6
Altamente Vulnerável	Prevalece a Morfogênese	2,7 a 3,0

Fonte: Modificado de Crepani *et al.* (1996).

campo, foi possível analisar, de forma qualitativa, as características da bacia hidrográfica em estudo, considerando seus aspectos naturais e realizar a caracterização dos sistemas ambientais.

Com a caracterização dos sistemas ambientais, se buscou identificar as inter-relações dos componentes geoambientais de forma hierarquizadas, objetivando determinar suas particularidades, sendo possível avaliar a capacidade de suporte do uso e ocupação da terra.

#### 2.2.6 Fase VI - Análise Ecodinâmica e Vulnerabilidade a perda de solo

Para a análise Ecodinâmica e vulnerabilidade a perdas de solo foi adaptada, à realidade da bacia hidrográfica, empregando-se a metodologia desenvolvida pelo INPE e pelo Ministério do Meio Ambiente (CREPANI *et al.* (1996), BECKER E EGLER (1996), CREPANI *et al.* (2001), CREPANI (2009)), onde buscou-se determinar o grau de vulnerabilidade à erosão baseada nos processos de morfogênese e pedogênese (TRICART, 1977). Um detalhamento dos valores

adotados para vulnerabilidade pode ser encontrados em Gomes (2011).

A vulnerabilidade foi determinada variando entre 1,0 e 3,0, possuindo um total de 21 valores, onde a variação desses foi determinante para o estabelecimento de cinco classes de vulnerabilidade a erosão (Quadro 1). Com este procedimento metodológico é possível elaborar cartas de vulnerabilidade natural à perda de solo a partir de um banco de dados contendo as informações do meio físico e de uso da terra.

Com a elaboração do grau de vulnerabilidade, busca-se determinar as classes de vulnerabilidade à erosão, distribuídas entre situações em que há predominância de processos pedogenéticos, passando por situações intermediárias até chegar ao predomínio dos processos morfogenéticos, para cada tema e dentro de cada unidade geoambiental.

Esses valores de vulnerabilidade são aplicados aos temas que foram mapeados (Geologia, Geomorfologia, Solos, Vegetação, Clima e Uso e Ocupação) de acordo com cada classe, recebendo posteriormente um valor final, resultante da média aritmética dos valores individuais (Equação 3), que busca representar a posição desta unidade dentro da escala de vulnerabilidade natural à perda de solo:

$$V = (G+R+S+Vg+C+U) / 6 \quad (3)$$

Onde:

V = Vulnerabilidade;

G = vulnerabilidade para o tema Geologia;

R = vulnerabilidade para o tema Geomorfologia;

S = vulnerabilidade para o tema Solos;

Vg = vulnerabilidade para o tema Vegetação;

C = vulnerabilidade para o tema Clima;

U = vulnerabilidade para o tema Uso e Ocupação.

Dentro desta escala de vulnerabilidade, as unidades que apresentam maior estabilidade são representadas por valores próximos de 1,0, as unidades de estabilidade intermediária são representadas por valores ao redor de 2,0, enquanto que as unidades territoriais básicas mais vulneráveis possuem valores próximos de 3,0.

A vulnerabilidade geomorfológica é calculada levando em consideração os valores da altimetria, declividade e compartimentação geomorfológica (Equação 4).

$$R = (A+D+E)/3$$

Onde:

R = vulnerabilidade para o tema Geomorfologia;

A = vulnerabilidade para o tema Altimetria;

D = vulnerabilidade para o tema Declividade;

E = vulnerabilidade para o tema Compartimentação Geomorfológica.

### 3. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-GEOGRÁFICAS DA ÁREA DE ESTUDO

#### 3.1 Aspectos Geológicos e Geomorfológicos

A bacia hidrográfica do rio Jaibaras está inserida no Graben de Jaibaras, pertencendo ao extremo Noroeste da província Borborema, limitando-se ao Oeste com a bacia paleozóica do Parnaíba e ao sul com o Craton do São Francisco, fazendo parte assim, do arcabouço estrutural do domínio Noroeste do Ceará, compreendendo uma arquitetura de horst e graben separados por zonas de cisalhamento antigas e profundas (TORQUATO & NOGUEIRA NETO, 1996).

A compartimentação geomorfológica foi concebida segundo adaptação da metodologia aplicada ao tema Geomorfologia elaborado pelo Projeto Radambrasil (BRASIL, 1981).

As *Planícies Fluviais* são áreas planas resultante de acumulação fluvial sujeita a inundações periódicas, bordejando as calhas dos rios. Possuem dimensões expressivas a partir do médio e baixo curso dos rios, quando os sedimentos aluviais têm menor calibre.

Pela disposição das vertentes da Serra da Meruoca, a topografia do relevo é marcada por declives íngremes e com intensas limitações geoambientais ao uso agrícola, em função do relevo dissecado.

Embutidos nas encostas da Serra da Meruoca, na forma de secções alargadas de fundo de vale, verificam-se a existência de *Alvéolos*, originados pelo entulhamento de sedimentos aluviais e coberturas coluviais. Na base das escarpas, os sedimentos coluviais transportados pela erosão em lençol do escoamento superficial, ou por efeito da gravidade, normalmente encontram-se acumulados, formando os *Alvéolos*.

As *Depressões Sertanejas Semi-Áridas* abrangem a maior parcela do território da bacia hidrográfica do rio Jaibaras. Envolvem terrenos de

topografia variada, compartimentados de acordo com o índice de dissecação do relevo em superfícies pediplanadas parcialmente dissecadas e dissecadas. Possuem altimetria modesta que, normalmente, não ultrapassa os 400 metros. Ocorrem com frequência embutidas entre maciços residuais e os planaltos

Tabela 1 - Médias pluviométricas (mm de chuva) da bacia hidrográfica do Jaibaras para os anos em estudo.

Município	1985	1996	2009
Alcantâras	-	974,5	1.438,00
Cariré	1.658,00	881	2.081,00
Graça	-	1.334,00	1.980,00
Ibiapina	3.230,40	1.893,00	2.372,00
Meruoca	2.899,00	1.824,70	2.512,00
Mucambo	2.065,20	1.208,10	1.697,00
Pacujá	2.090,40	1.082,20	1.320,50
Reriutaba	2.182,00	1.136,70	1.496,80
Sobral	1.815,10	891,2	1.266,50

Fonte: Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME). Disponível em: <http://www3.funceme.br/plone/monitoramento/DownloadChuvasPublico.php>

sedimentares. Apresenta acentuadas diversificações litológicas (predomínio do Pré-Cambriano Superior), amplamente submetidas às condições semi-áridas quentes, com forte irregularidade pluviométrica.

São vastas as superfícies de aplainamento, onde o trabalho erosivo truncou as diversas rochas constituintes, ora dissecando, ou rebaixando os setores de litologias mais fracas. Atribuí-se a esse processo a origem de *Cristas Residuais*, em formas alongadas e isoladas em meio à depressão sertaneja.

### 3.2 Condições Climáticas e Hidrológicas

Levando em consideração as condições climáticas do Estado do Ceará, onde as maiores médias pluviométricas concentram-se em quatro meses consecutivos do ano - Fevereiro a Maio - apresentando grande variabilidade interanual, tempo-espacial, e até da própria estação chuvosa (SOUZA, 1994), a Bacia Hidrográfica do Rio Jaibaras encontra-se nesse contexto.

As médias térmicas ficam em torno de 26° a 30°C, havendo variações significativas na Serra da Meruoca e no Planalto de Ibiapaba devido ao aumento da altitude, onde há uma amenização da temperatura, variando entre 24° a 28°C.

A série histórica climatológica dos nove postos pluviométricos da FUNCEME para a Bacia Hidrográfica do Rio Jaibaras, listados na tabela 1, permite observar uma variação tempo-espacial da precipitação pluviométrica na área da bacia, com grande diferença entre os municípios.

### 3.3 Solos

As classes de solos foram identificadas e descritas, segundo suas principais propriedades físicas e químicas, potencialidades e restrições de uso, com taxonomia proposta pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999).

Os solos encontrados na bacia hidrográfica do rio Jaibaras são compostos pela associação das seguintes classes: *Argissolos*, *Luvissolos*, *Neossolos Litólicos*, *Neossolos Flúvicos* e *Planossolos*.

Os *Argissolos* são relativamente profundos, bem desenvolvidos, com horizontes B em cores Vermelho-Amarelo a Vermelho, com textura média a argilosa abaixo de um horizonte A ou E de cores cinzentas ou claras e de textura arenosa a média (EMBRAPA, 1999).

Encontram-se nos Alvéolos, na Superfície Pediplanada Dissecada e na Depressão Periférica Subúmida de Ibiapaba, formando o mosaico de solos dos municípios de Graça, Mucambo, Cariré, Pacujá e Reriutaba.

Os *Luvissolos* são pouco profundos a rasos, com horizonte A de coloração clara de pequena espessura sobre o horizonte B mais argiloso e de cores avermelhadas. Possuem alta fertilidade natural e elevada quantidade de minerais primários intemperizáveis que se tornam fontes de nutrientes para as plantas.

Os *Neossolos Litólicos* localizam-se nas vertentes secas da Serra da Meruoca e se estendem por grande parte da depressão sertaneja.

Apresentam-se muito pouco desenvolvidos e rasos, com horizonte A sobre um horizonte C de pequena espessura ou mesmo sobre a rocha-matriz. São solos jovens, normalmente pedregosos e com textura média, com fortes variações de fertilidade natural.

Já os *Neossolos Flúvicos* são solos encontrados ao longo das planícies fluviais, com orientação Norte-Sul se estendendo desde Graça até Sobral. São solos pouco desenvolvidos, geralmente profundos, apresentando corriqueiramente um horizonte A sobre uma sucessão de camadas estratificadas sem nenhuma relação pedogenética entre si, com textura desde arenosa a argilosa, sendo mais corriqueiro fases argilosas. Sua formação se deve a deposições de sedimentos de natureza e granulometria variadas desenvolvidas pelos rios em épocas recentes.

Os *Planossolos* são encontrados nas proximidades do açude Aires de Souza associado aos Neossolos Flúvicos ao longo do rio Jaibaras, na porção central.

Em função da associação com a deposição fluvial, esses solos apresentam alta fertilidade natural e grande potencial ao uso agrícola. Caracterizam-se por ser pouco profundos a rasos, com horizonte A de cores claras e textura arenosa a média, contrastando com a nitidez do horizonte B, que é mais argiloso, de baixa permeabilidade e com estrutura colunar. Apresentam elevados teores de sódio nos horizontes mais profundos.

Situam-se em posições mais rebaixadas da paisagem em áreas planas ou suave onduladas onde o relevo permite o excesso de água no período chuvoso e a forte concentração de sais (EMBRAPA, 1999).

### 3.4 Vegetação

A vegetação é de extrema importância para a manutenção da biodiversidade e proteção dos solos, pois essa, além de realizar a fotossíntese, servindo como produtor primário, produzindo oxigênio e celulose, ajuda na proteção do solo, pela interceptação da chuva, interrompendo o carreamento do solo, minimizando assim o efeito da erosão (GOMES, MEDEIROS E ALBUQUERQUE, 2011).

No que se refere às características fitoecológicas, a bacia hidrográfica do rio Jaibaras apresenta uma diversificação bastante acentuada em toda sua extensão, isto se dá por uma forte inter-relação que o clima, os solos, a altimetria e o uso e ocupação exercem sobre a vegetação, determinando seus aspectos naturais.

Entre as principais unidades tipológicas das vegetações identificadas e mapeadas na bacia,

destacam-se as Caatingas, divididas em *Caatinga Arbustiva Aberta* e *Floresta Caducifolia Espinhosa* (Caatinga Arbórea), a *Floresta Subcaducifolia Tropical Pluvial* (Mata Seca), a *Floresta Subperenifolia Tropical Pluvio-Nebular* (Mata Úmida) e a Mata Ciliar (GOMES et al, 2011) podendo todas estar em seu estado natural ou encontrar-se degradadas devido à intervenção antrópica.

A cobertura vegetal das Caatingas ocupa a maior parte da depressão sertaneja da bacia, sendo influenciada pela predominância do clima semi-árido na região, onde são adaptadas às condições severas da semi-aridez, caracterizada pela relevante irregularidade das precipitações, bem como sua escassez no tempo e no espaço, as elevadas temperaturas e os altos índices de evapotranspiração.

A cobertura vegetal da *Floresta Subcaducifolia Tropical Pluvial* (Mata Seca) apresenta características de transição entre a *Floresta Subperenifolia Tropical Pluvio-Nebular* (Mata Úmida) e as Caatingas, normalmente ocupando os níveis inferiores e médios do maciço residual da Meruoca e do Planalto de Ibiapaba, ocupando entre a variação altimétrica de 330 a 500 metros.

A cobertura vegetal da *Floresta Subperenifolia Tropical Pluvio-Nebular* (Mata Úmida) é uma vegetação que necessita de uma maior umidade, típica de terrenos de maior altitude, superiores a 500 metros, característicos de ambientes serranos. A bacia do rio Jaibaras tem sua principal representação no Planalto de Ibiapaba e na vertente úmida da serra da Meruoca. É uma vegetação com características perenifólias, onde permanecem cerca de 75% a 100% de sua folhagem o ano todo.

Segundo Figueiredo (1997), a fisionomia da cobertura vegetal da *Floresta Subperenifolia Tropical Pluvio-Nebular* (Mata Úmida) é semelhante, tanto para as serras cristalinas, quanto para as sedimentares, mas sua composição florística possui diferenças significativas. Árvores de caules retílineos, esfeços, coberto muitas vezes por línques, orquídeas, samambaias e bromélias, alcançam 30 metros.

A cobertura vegetal de *mata ciliar* é uma vegetação que possui melhores condições hídricas e com solos mais férteis, por recobrirem a planície

fluvial do rio Jaibaras, apresentando assim uma vegetação que se diferencia da caatinga, normalmente está associada a culturas extrativista, como a extração da folha de carnaúba, ou associado ao cultivo agrícola, favorecido por solos mais férteis e a maior disponibilidade hídrica. Para Figueiredo (*op. cit.*), as matas ciliares por estarem em áreas com pouca declividade, onde os processos de sedimentação se sobrepõem aos da erosão, encontram terrenos propícios ao seu desenvolvimento.

Através do uso de técnicas de classificação, tratamento digital de imagens e trabalho de campo foram elaborados os mapas temáticos contendo a classificação da cobertura vegetal da bacia hidrográfica do rio Jaibaras, levando em consideração as características fitoecológicas da vegetação, sendo visitados em campo, dentre as unidades fitoecológicas encontradas estão: *Caatinga Arbustiva Aberta* e *Floresta Caducifólia Espinhosa* (Caatinga Arbórea), a *Floresta Subcaducifólia Tropical Pluvial* (Mata Seca), a *Floresta Subperenifólia Tropical Pluvio-Nebular* (Mata Úmida), Mata Ciliar, além de áreas de solos expostos associados com vegetação rasteira.

Vale chamar à atenção que em algumas cenas do satélite LANDSAT 5 tivemos a presença de nuvens, sombras de nuvens e corpos d'água, os quais também foram mapeados. A seguir caracterizam-se as unidades mapeadas.

*Caatinga Arbustiva Aberta* – Ocupa maior parte da depressão sertaneja da bacia, representando nos anos de 1985, 1996 e 2009, respectivamente 804,06 km<sup>2</sup>; 887,19 km<sup>2</sup> e 818,74 km<sup>2</sup> da área total da bacia. É uma cobertura vegetal utilizada como combustível vegetal pela população que ocupa a região, tendo em vista que boa parte da área ocupada está constantemente associada à agricultura de subsistência e a pecuária extensiva de caprinos e bovinos.

*Floresta Caducifólia Espinhosa* (Caatinga Arbórea) – Em seu estado mais conservado ocupa maior parte da Depressão Periférica Subúmida da Ibiapaba, já a Caatinga Arbórea degradada está mais presente na Depressão Sertaneja, no município de Mucambo. Para os anos de 1985, 1996 e 2009, a caatinga Arbórea representou, respectivamente, 386,72; 253,96 e 254,83 km<sup>2</sup> da área total da bacia.

*Floresta Subcaducifólia Tropical Pluvial* (Mata Seca) – Ocupa uma faixa de altitude intermediária da serra da Meruoca e Escarpa da serra de Ibiapaba, para os anos de 1985, 1996 e 2009, a Mata Seca representou, respectivamente, 101,85 km<sup>2</sup>; 152,93 km<sup>2</sup> e 143,51 km<sup>2</sup> da área total da bacia, encontrando-se bastante degradada na serra de Meruoca, devido ao uso intensivo para as atividades agrícolas e para a retirada de madeira para uso como lenha, construção de cercas e para a construção civil.

*Floresta Subperenifólia Tropical Pluvio-Nebular* (Mata Úmida) – Ocupa uma faixa de maior altitude da serra da Meruoca e Escarpa do Planalto da Ibiapaba, para os anos de 1985, 1996 e 2009, a Mata Úmida representou, respectivamente, 150,11 km<sup>2</sup>; 113,07 km<sup>2</sup> e 110,28 km<sup>2</sup> da área total da bacia. Na serra de Meruoca é mais presente em sua porção úmida, a barlavento da serra, e na Ibiapaba ocupa a escarpa da *Cuesta*.

*Mata Ciliar* – Ocupa a área de menor altitude e mais plana da bacia, tornando-se predominante planície fluvial. Para os anos de 1985, 1996 e 2009, a Mata Ciliar representou 56,64 km<sup>2</sup>, 43,39 km<sup>2</sup> e 59,43 km<sup>2</sup>, respectivamente, da área total da bacia, encontrando-se bastante degradada, por está localizada em uma região com maior potencial hídrico e solos mais férteis, está constantemente cedendo lugar para a agricultura e a pecuária.

*Solos expostos associado com vegetação rasteira* – É uma área que está associada a agricultura de subsistência e a pecuária extensiva de caprinos e bovinos, onde é utilizada como pasto, e quando não serve mais para essa finalidade é abandonada. Ocupa normalmente áreas com menor declividade, localizada na depressão sertaneja da bacia e representou nos anos de 1985, 1996 e 2009, respectivamente 64,14 km<sup>2</sup>; 68,36 km<sup>2</sup> e 171,25 km<sup>2</sup> da área total da bacia.

Através do uso de técnicas de classificação, de tratamento digital de imagens e trabalho de campo foram elaborados os mapas temáticos contendo as unidades fitoecológicas da cobertura vegetal da bacia hidrográfica do rio Jaibaras – CE no contexto semiárido nordestino, podendo os resultados serem observadas nas Figs. 5, 7 e 9.

A classificação das imagens auxiliada pelas imagens NDVI permitiu uma excelente resposta da densidade da cobertura vegetal, possibilitando a qualificação em unidades fitoecológicas da

cobertura vegetal, e quantificação das áreas ocupadas por cada unidade (Tabela 2). Pôde-se observar a influência determinante dos índices pluviométricos sobre a vegetação, já que a caatinga rapidamente recupera sua cobertura nas primeiras chuvas.

Os gráficos das Fig. 4, 6 e 8 mostram a dinâmica da evolução de cada unidade da cobertura vegetal, em termos quantitativos de área.

Na Fig. 4 pode se observar os percentuais das unidades fitoecológicas mapeadas na imagem LANDSAT 5 de 1985. Já no ano inicial do estudo há uma predominância maior de área com vegetação da Caatinga Arbustiva Aberta, representando 51% da área da bacia hidrográfica, o que corresponde a 804,06 km<sup>2</sup> (Fig. 5).

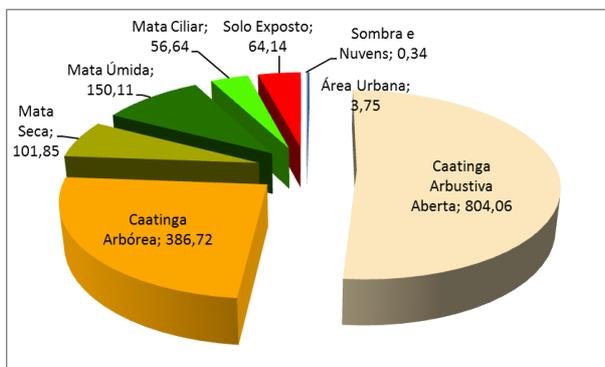


Fig. 4 – Unidades fitoecológicas mapeadas para o ano de 1985.

No gráfico da Fig. 6 pode se observada as áreas das unidades fitoecológicas mapeadas para o ano de 1996, onde se verifica um aumento de 83,13 km<sup>2</sup> na área de vegetação da Caatinga Arbustiva Aberta e diminuição da Caatinga Arbórea, isso se deve ao uso e supressão da vegetação, havendo uma transição entre os dois estados de vegetação (Fig. 7), outro fator determinante para modificação desses valores foi o aumento da quantidade de área que não pode ser mapeada devido a uma quantidade maior de cobertura e sombra de nuvem.

Para o ano de 2009 (Fig. 8), um fator que chamou a atenção foi o aumento de área com solo exposto, passando de 68,36 km<sup>2</sup> para 171,25km<sup>2</sup> de área total da bacia, representando um aumento de 102,89 km<sup>2</sup> de área sem cobertura vegetal ou com cobertura vegetal rasteira.

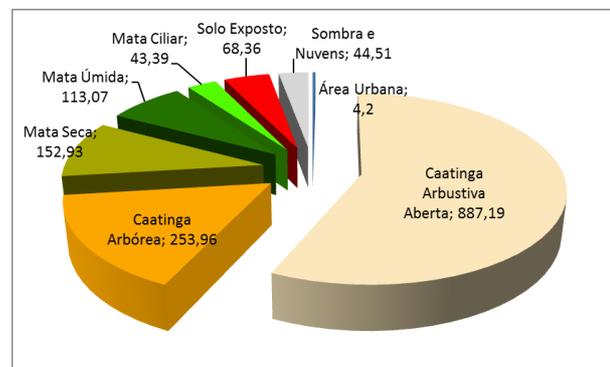


Fig. 6 – Unidades fitoecológicas mapeadas para o ano de 1996.

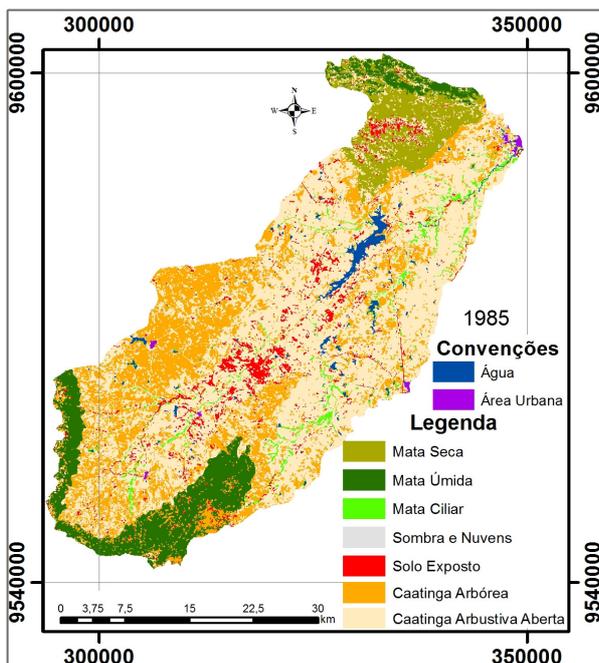


Fig. 5 – Mapa das unidades fitoecológicas mapeadas para o ano de 1985.

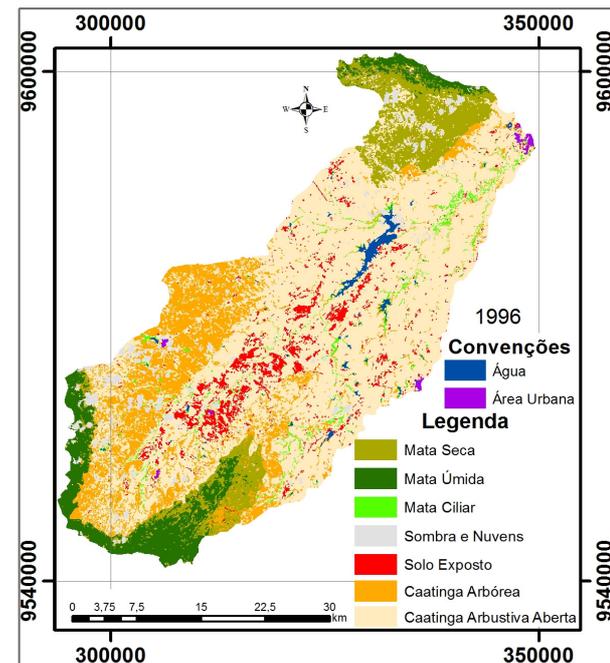


Fig. 7 – Mapa das unidades fitoecológicas mapeadas para o ano de 1996.

#### 4. CARACTERIZAÇÃO DOS SISTEMAS AMBIENTAIS

A importância da caracterização dos sistemas ambientais, pelo viés integrativo, se destaca como método para compreender o espaço geográfico em uma determinada porção espacial, tendo em vista que o estudo dos geossistemas nos fornece elementos para o conhecimento da estrutura e do funcionamento da natureza, proporcionando, assim, o planejamento racional de uso e ocupação da terra.

Para a classificação das paisagens naturais (e sistemas ambientais), torna-se necessário distinguir duas categorias de sistematização: a tipologia e a regionalização. A tipologia significa distinguir as unidades pela sua semelhança e repetição, dependendo de determinados parâmetros de homogeneidade, já a regionalização significa determinar as unidades pela sua personalidade e individualidade (RODRIGUEZ & SILVA, 2002).

Neste contexto, corrobora-se que a análise integrada de dados geológicos, geomorfológicos, pedológicos, fitoecológicos, climatológicos e de uso e ocupação, juntamente com a interpretação de

imagens de sensoriamento remoto, favorecidos pelos Sistemas de Informações Geográficas, têm auxiliado na análise da degradação ambiental e facilitado na identificação dos sistemas e subsistemas ambientais, tendo em vista que esses estudos têm fornecido elementos para o conhecimento da estrutura e funcionamento da natureza, proporcionando, assim, o planejamento racional de uso e ocupação do solo.

Partindo dos princípios da metodologia desenvolvida por Souza (2000), que se baseia nos preceitos da análise geoambiental, a qual se pressupõe a inter-relação entre os fatores dos meios abiótico, biótico e socioeconômico, foi classificada na bacia hidrográfica do Jaibaras os seguintes sistemas ambientais (Quadro 2): Depósitos Quaternários; Depressão Sertaneja; Maciços

Tabela 2 - Unidades fitoecológicas mapeadas em km<sup>2</sup>.

Unidades Mapeadas	1985	1996	2009
Área Urbana	3,75	4,2	6,07
Caatinga Arbustiva Aberta	804,06	887,19	818,74
Floresta Caducifólia Espinhosa (Caatinga Arbórea)	386,72	253,96	254,83
Floresta Subcaducifólia Tropical Pluvial (Mata Seca)	101,85	152,93	143,51
Floresta Subperenifólia Tropical Pluvio-Nebular (Mata Úmida)	150,11	113,07	110,28
Mata Ciliar	56,64	43,39	59,43
Solo Exposto	64,14	68,36	171,25
Sombra e Nuvens	0,34	44,51	3,5

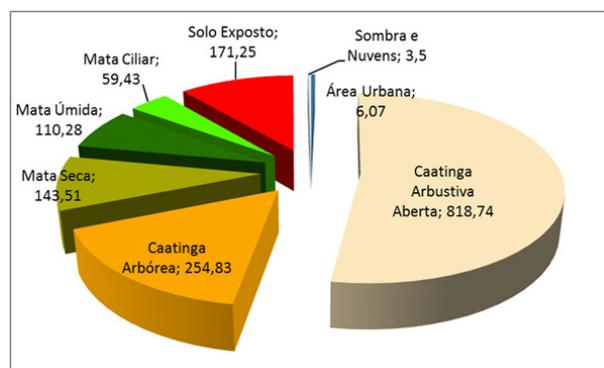


Fig. 8 – Unidades fitoecológicas mapeadas para o ano de 2009.

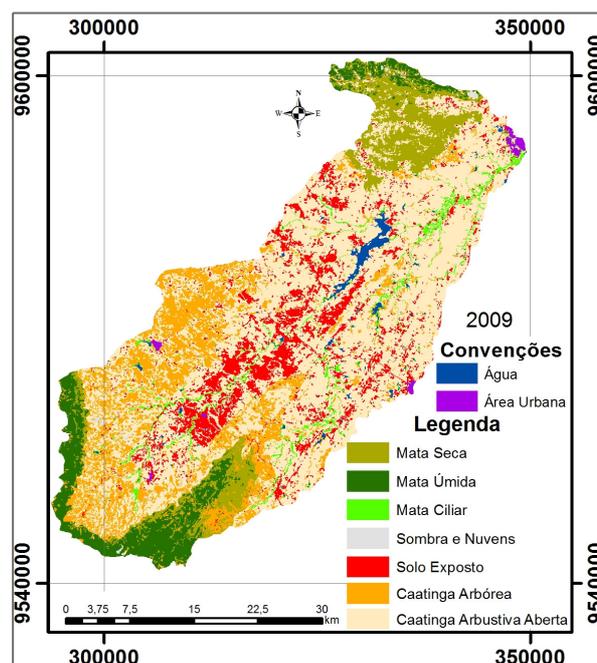


Fig. 9 – Mapa das unidades fitoecológicas mapeadas para o ano de 2009.

Quadro 2 - Sistemas e subsistemas da bacia hidrográfica do Rio Jaibas.

SISTEMAS AMBIENTAIS	SUBSISTEMAS AMBIENTAIS
Depósitos Quaternários	Alvéolos
	Planícies Fluviais
Depressão Sertaneja	Superfície Pediplanada Parcialmente Dissecada
	Superfície Pediplanada Dissecada
Maciços Residuais	Cristas Residuais
	Vertente Úmida da Meruoca
	Vertente Seca da Meruoca
Planalto Sedimentar da Ibiapaba	Planalto da Ibiapaba
	Depressão Periférica de Ibiapaba
	Escarpa de Ibiapaba

Fonte: Elaborado pelos autores.

Residuais e Planalto Sedimentar da Ibiapaba. Dentro desses quatro compartimentos, foram classificados os subsistemas ambientais, respectivamente, representados pelos: Alvéolos, Planícies Fluviais; Superfície Pediplanada Parcialmente Dissecada; Superfície Pediplanada Dissecada; Cristas Residuais, Vertente Úmida Serra da Meruoca, Serra Seca / Subúmida do Rosário; Planalto da Ibiapaba, Depressão Periférica de Ibiapaba e Escarpa de Ibiapaba (Fig. 10).

#### 4.1 Sistema Ambiental: Depósitos Quaternários Subsistema: Alvéolos

Esse sistema ambiental está localizado na vertente, a sotavento da serra da Meruoca, onde sofre menos a influência das chuvas orográficas, numa área de aproximadamente 16,14 km<sup>2</sup>. Possui como tipo climático apenas o tropical semiárido, onde apresenta 6 meses secos, possuindo média pluviométrica de 82 mm/ano. Possui uma hidrografia superficial intermitente, influenciada pelo período de chuva. Os solos de maior abundância são Argissolos. A cobertura vegetal destes locais é bastante variada, com espécies da Caatinga Aberta Arbustiva e Mata Seca. Geralmente são pequenas e médias propriedades. Existe também prática da pecuária de subsistência. Também foram constatadas a presença de lavra de extração de granito, bem como áreas requeridas para pesquisa de minério de ferro.

Nota-se a descaracterização da cobertura vegetal primária, com a sua retirada para a agricultura; acúmulo de resíduos sólidos em locais inadequados; cultivo em áreas de preservação permanente; práticas agrícolas promotoras da queda da biodiversidade; utilização excessiva dos recursos

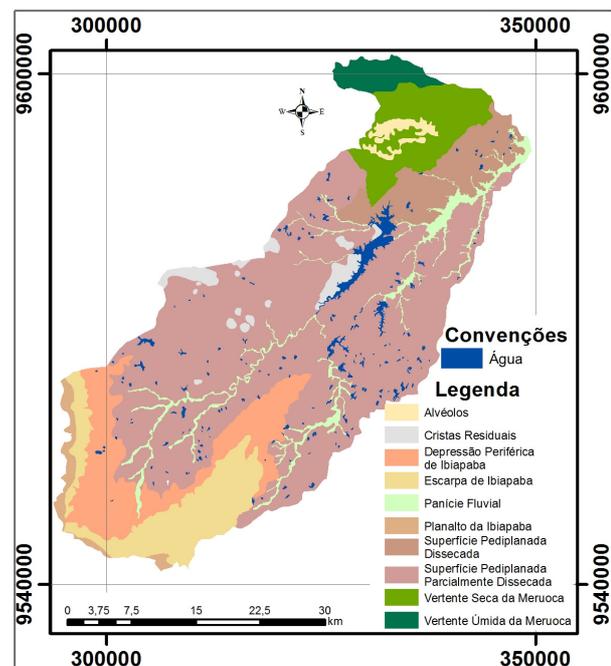


Fig. 10 – Subsistemas da bacia hidrográfica do Rio Jaibas. Fonte: Elaborado pelos autores.

naturais; diminuição da carga hídrica; poluição dos riachos; assoreamento dos canais fluviais; e sítios urbanos sem planejamento.

#### 4.2 - Sistema Ambiental: Depósitos Quaternários Subsistema: Planícies Fluviais

Compreende uma área de 63,67 km<sup>2</sup>, apresentando uma superfície mais plana da bacia, com declividade inferior a 3°, este sistema ambiental também apresenta as menores altitudes da bacia, que variam entre 90 e 160 metros. As planícies fluviais têm menor capacidade de entalhe, constituindo também ambientes de exceção, onde há maior facilidade de acúmulo hídrico.

Está localizado em toda a extensão da bacia, onde sofre maior diferenciação da quantidade pluviométrica. Possui uma hidrografia superficial intermitente, influenciada pela pluviometria, com um padrão de drenagem dendrítica. Os solos são do tipo Neossolos Flúvicos profundos. A cobertura vegetal destes locais era bastante variada com espécies da Caatinga Aberta Arbustiva e Mata Ciliar.

Há descaracterização da cobertura vegetal primária; extrativismo vegetal e mineral descontrolado; diminuição da biodiversidade; sobrepastoreio; resíduos sólidos em local inadequado; assoreamento de rios e riachos; cultivo

em áreas de preservação permanente; rebaixamento do lençol freático; diminuição da carga hídrica; sítios urbanos não planejados; poluição dos recursos hídricos; e sobreutilização dos recursos naturais.

#### **4.3 - Sistema Ambiental: Depressão Sertaneja Subsistema: Superfície Pediplanada Parcialmente Dissecada**

Esse sistema está inserido numa área de 258,46 km<sup>2</sup>, apresentando declividades variando entre 3° e 6° e está inserida na Depressão Sertaneja da bacia, possuindo uma altimetria que variam entre 160 e 300 metros. O clima principal é o tropical quente semi-árido de 6 meses secos. O padrão de drenagem é dendrítico, com a maior parte do ano intermitente.

Os solos rasos do tipo Neossolos Litólicos Eutrófico. A cobertura vegetal deste sub-sistema varia de acordo com as unidades fitoecológicas, possuindo 49% de Caatinga Arbustiva Aberta, 20% Caatinga Arbustiva Aberta Degradada, 4% de Caatinga Arbórea, e 1% de Caatinga Arbórea Degradada. Cabe colocar que cerca de 67,72 km<sup>2</sup> da área encontram-se com solo exposto associado a vegetação rasteira.

É notória uma forte descaracterização da cobertura vegetal; sobrepastoreio; esgotamento dos solos, com o truncamento do horizonte superficial; diminuição da biodiversidade; carência de melhores técnicas de proteção dos solos às intempéries do clima e as formas de uso da terra; cultivo em áreas de preservação permanente; assoreamento dos cursos d'água; diminuição da carga hídrica; sítios urbanos sem planejamento; e acúmulo de resíduos sólidos em local inadequado.

#### **4.4 - Sistema Ambiental: Depressão Sertaneja Subsistema: Superfície Pediplanada Dissecada**

Possui área de 676,72 km<sup>2</sup> e apresenta declividade entre 6° e 12°, bastante ondulado e encontra-se inserida na Depressão Sertaneja da bacia, que variam entre 160 e 380 metros. O clima principal é o tropical quente semiárido de 6 meses secos. O padrão de drenagem é dendrítico, com a maior parte do ano intermitente.

Possui um mosaico de solos bastante diversificado, composto por Neossolos Litólicos, Luvisolos, Planossolos e Argissolos. A cobertura vegetal deste sub-sistema varia entre as unidades

fitoecológicas, possuindo 53,73% de Caatinga Arbustiva Aberta, 13,80% de Caatinga Arbustiva Aberta Degradada, 1,19% de Caatinga Arbórea e 17,55% de Caatinga Arbórea Degradada. Cabe chamar atenção o fato de uma área de 86,78 km<sup>2</sup> encontrar-se com solo exposto associado com vegetação rasteira.

O uso da terra encontra-se predominantemente materializadas na forma de pecuária extensiva e silvicultura. Ocorrência de sítios urbanos. Presença de indústrias de pequeno e grande porte. Agricultura de subsistência, com milho e feijão nas pequenas propriedades e próximo aos recursos hídricos. Pesca comercial e artesanal em açudes. Presença de lavra de extração de areia, arenito, argila, calcário, conglomerado, granito e áreas requeridas para pesquisa em minério de ferro e minério de cobre.

Ocorre uma forte descaracterização da cobertura vegetal pela silvicultura; sobrepastoreio; esgotamento dos solos; diminuição da biodiversidade; carência de melhores técnicas de proteção dos solos às intempéries do clima e as formas de uso da terra; cultivo em áreas de preservação permanente; assoreamento dos cursos d'água; diminuição da carga hídrica; sítios urbanos sem planejamento; e acúmulo de resíduos sólidos em local inadequado.

#### **4.5 - Sistema Ambiental: Maciços Residuais Subsistema: Cristas Residuais**

Possui entre as suas principais unidades litoestratigráficas a Formação Frecheirinha, Suíte intrusiva - Subalcalina a alcalina Meruoca, Formação Parapuí, possuindo suas Morfoestruturas pertencentes aos Escudos e Maciços Antigos. Compreende uma área com 33,82 km<sup>2</sup>.

Apresenta uma superfície com declividades superiores a 15° estando inserida na Depressão Sertaneja da bacia, que variam entre 200 e 700 metros. O clima principal é o tropical quente semiárido de 6 meses secos, possuindo uma drenagem intermitente. Apresenta mosaico de solos com grande variedade em associação de Planossolos, Neossolos Litólicos e sendo comuns os solos rasos, afloramentos rochosos, chãos pedregosos e campos de inselbergs.

Presença de lavra de extração de granito. Desmoronamento de blocos rochosos; extração da cobertura vegetal em áreas de forte declive e processos erosivos.

#### **4.6 - Sistema Ambiental: Maciços Residuais Subsistema: Vertente Seca da Meruoca**

Esse sistema possui 110,04 km<sup>2</sup> e apresenta uma litologia composta de Monzonitos, Granodioritos e Sienitos com predomínio da fácies equigranular; granulação média a grossa presente na Suíte intrusiva - Subalcalina a alcalina Meruoca.

Apresenta uma superfície com declividades superiores a 25°, altimetria variando entre 200 e 860 metros. A incidência do clima tropical quente semiáridos de 7 a 8 meses secos nos setores Sul e Oeste é predominante. A rede de drenagem apresenta forte controle estrutural, com o desenvolvimento de uma forma subparalela.

Ocorrem os solos rasos do tipo Neossolos Litólicos Eutófrico e Luvisolos. A cobertura vegetal deste subsistema varia entre as unidades fitoecológicas, possuindo 25% de Caatinga Arbustiva Aberta, 4% Caatinga Arbustiva Aberta Degradada, 8% de Mata Saca, 56% de Mata Seca Degradada, 3% de Mata Úmida e 3% de Solo Exposto.

Há a predominância de propriedades agrícolas de pequeno porte. Existem poucas propriedades sem uso e em grande parte praticam extrativismo. Nas cristas com solos mais espessos ocorre a prática de culturas temporárias, já em cristas com solos menos espessos somente o extrativismo. A base da produção é a subsistência para as culturas temporárias e de subsistência/comercial para as culturas permanentes. As culturas permanentes utilizam as áreas mais úmidas. Presença de lavra de extração de granito e áreas requeridas para pesquisa em minério de ferro. As principais classes identificadas no mapeamento foram: Agricultura e Pecuária com 4,37 km<sup>2</sup>; Extrativismo e Pecuária com 27,24 km<sup>2</sup>.

Forte descaracterização da cobertura vegetal; erosão em sulcos; perda do horizonte superficial do solo, promovendo o surgimento e o deslizamento de blocos rochosos; diminuição da biodiversidade; exploração agrícola em áreas inadequadas; cultivo em áreas de preservação permanente; assoreamento das nascentes, rios e riachos; acúmulo de resíduos sólidos em local inadequado; sítios urbanos sem planejamento; poluição dos recursos hídricos; desmatamento e queimadas; e sobreutilização dos recursos naturais.

#### **4.7 - Sistema Ambiental: Maciços Residuais Subsistema: Vertente Úmida da Meruoca**

Apresenta área de 35,84 km<sup>2</sup> e uma litologia composta de Monzonitos, Granodioritos e Sienitos com predomínio da fácies equigranular; granulação média a grossa, presente na Suíte intrusiva - Subalcalina a alcalina Meruoca.

Apresenta área com superfície de declividades superiores a 25°, a altimetria variando entre 330 e 890 metros. O clima principal é o tropical quente semiárido, caracterizado, predominantemente, por 6 meses secos. A rede de drenagem apresenta forte controle estrutural, com o desenvolvimento de uma forma subparalela. Os solos rasos são do tipo Neossolos Litólicos. A cobertura vegetal deste subsistema varia entre as unidades fitoecológicas, possuindo 16,93 km<sup>2</sup> de Mata Seca Degradada e 15,05 km<sup>2</sup> de Mata Úmida.

Há a predominância de propriedades agrícolas de pequeno porte. Existem poucas propriedades sem uso e em grande parte praticam extrativismo. Nas cristas com solos mais espessos ocorre a prática de culturas temporárias e nas cristas com solos menos espessos somente o extrativismo. A base da produção é a subsistência para as culturas temporárias e de subsistência/comercial para as culturas permanentes. As culturas permanentes utilizam as áreas mais úmidas.

É perceptível a descaracterização da cobertura vegetal; erosão em sulcos; perda do horizonte superficial do solo, promovendo o surgimento e o deslizamento de blocos rochosos; diminuição da biodiversidade; exploração agrícola em áreas inadequadas; cultivo em áreas de preservação permanente; assoreamento das nascentes, rios e riachos; acúmulo de resíduos sólidos em local inadequado; poluição dos recursos hídricos; desmatamento e queimadas; e utilização excessiva dos recursos naturais.

#### **4.8 - Sistema Ambiental: Planalto Sedimentar da Ibiapaba / Subsistema: Planalto da Ibiapaba**

Apresenta uma litologia composta de Conglomerados e Arenitos, em parte feldspáticos, com intercalações de siltitos e folhelhos, pertencente ao Grupo Serra Grande. Possui área de 22,66 km<sup>2</sup>.

Está localizada na área de maior altitude da bacia, que varia entre 900 e 950 metros. Possui

terrenos planos com declividade inferior de 5°. O clima principal é o tropical quente semi-árido de 6 meses secos, mas é bastante influenciada por chuvas orográficas. A cobertura vegetal deste sub-sistema varia entre as unidades fitoecológicas, possuindo 16,24 km<sup>2</sup> de Mata Úmida, 4,09 km<sup>2</sup> de Mata úmida Degradada e 2,29 km<sup>2</sup> de Caatinga Arbórea.

#### **4.9 - Sistema Ambiental: Planalto Sedimentar da Ibiapaba / Subsistema: Escarpa de Ibiapaba**

Compreende uma área de 136,36 km<sup>2</sup> e apresenta uma litologia composta de conglomerados e arenitos, em parte feldspáticos, com intercalações de siltitos e folhelhos, pertencente ao Grupo Serra Grande.

Apresenta área de 16,32 km<sup>2</sup> e declividades superiores a 27°, com altimetria variando entre 270 m e 910. Possui uma superfície bastante acidentada, resultante de processos erosivos diferenciais, onde a diferença de resistência das rochas origina relevo acidentado. O clima principal é o tropical quente semi-árido de 6 meses secos. Possui maior disponibilidade hídrica, bastante influenciada por chuvas orogênicas. A rede de drenagem apresenta grande capacidade energética de cavar vales em forma de “V”. Presença de Neossolos Litólicos e Argissolos. A cobertura vegetal é compreendida por unidade fitoecológicas de maior porte, representadas por Mata Úmida, Mata Seca e Caatinga Arbórea.

Existem áreas requeridas para pesquisa em fosfato. Descaracterização da cobertura vegetal primária; extrativismo vegetal com a conseqüente diminuição da biodiversidade; cultivo em áreas de preservação permanente; e sobreutilização dos recursos naturais.

#### **4.10 - Sistema Ambiental: Planalto Sedimentar da Ibiapaba. Subsistema: Depressão Periférica de Ibiapaba**

Com uma área de 167,54 km<sup>2</sup>, possui superfície bastante dissecada, resultante de processos erosivos diferenciais, onde a diferença de resistência das rochas origina relevo acidentado, possui declive variado entre 3° e 15°, com altimetria variando entre 180 e 520 metros de altitude.

O clima principal é o tropical quente semi-árido de 6 meses secos. A rede de drenagem

apresenta grande capacidade energética com vales em forma de “V”, com o desenvolvimento de uma forma subparalela. Presença de Neossolos Litólicos e Argissolos. A cobertura vegetal é compreendida por unidade fitoecológicas de 87,20 km<sup>2</sup> de Caatinga Arbórea e 71,18 km<sup>2</sup> de Caatinga Arbustiva Aberta.

Ocorrência de sítios urbanos. Presença de indústrias de pequeno e grande porte. Agricultura de subsistência, com milho e feijão nas pequenas propriedades e próximo aos recursos hídricos. Pesca comercial e artesanal em açudes. Presença de lavra de extração de areia, arenito, argila, calcário, conglomerado, granito.

Nota-se a descaracterização da cobertura vegetal primária; o extrativismo vegetal e mineral descontrolado; diminuição da biodiversidade; sobrepastoreio; resíduos sólidos em local inadequado; assoreamento de rios e riachos; cultivo em áreas de preservação permanente; diminuição da carga hídrica; sítios urbanos não planejados; poluição dos recursos hídricos; e sobreutilização dos recursos naturais.

### **5. VULNERABILIDADE E/OU ESTABILIDADE À EROSÃO**

O grau de vulnerabilidade de cada subsistema, pode ser observado de forma espacializada na Fig. 11.

Nesse sentido, em todo o todo o território da bacia hidrográfica, para os três investigados, somente o subsistema dos alvéolos apresentou grau de vulnerabilidade classificado como ambiente estável. Também foi observado um predomínio do grau de vulnerabilidade do Ambiente em Equilíbrio Morfodinâmico, onde representaram 1059,39 km<sup>2</sup> 983,05 km<sup>2</sup> e 1067,07 km<sup>2</sup> da extensão total da bacia, nos respectivos anos 1985, 1996 e 2009.

Analisando os subsistemas ambientais, a Depressão Periférica da Ibiapaba, a Escarpa da Ibiapaba, o Planalto da Ibiapaba, a Planície Fluvial, a Superfície Pediplanada Parcialmente Dissecada e a Superfície Pediplanada Dissecada, apresentaram vulnerabilidade classificada como Altamente Vulnerável, sendo que a Planície Fluvial apresentou a maior percentagem da extensão total do subsistema nessa classe, representando 7,12 km<sup>2</sup>, 5,44 km<sup>2</sup> e 4,95 km<sup>2</sup>, para os anos de 1985, 1996 e 2009, respectivamente.

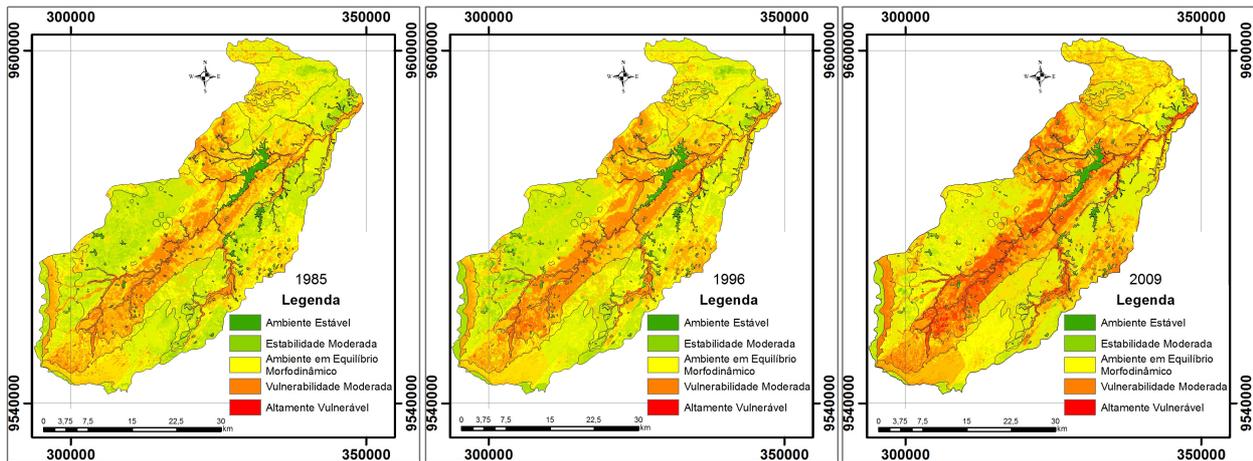


Fig. 11 – Mapa da vulnerabilidade e/ou estabilidade à erosão. Fonte: Elaborado pelos autores.

A Vulnerabilidade Moderada esteve presente em todos os subsistemas, representando mais de 60% nos três anos de estudo na Planície Fluvial e na Superfície Pediplanada Parcialmente Dissecada.

Depois do grau de vulnerabilidade Ambiente Estável, a Estabilidade Moderada foi a que teve menor representatividade na pesquisa, representando menos de 10% dos subsistemas e não chegando nem a 1% da bacia em todos os anos em estudo.

## 6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A bacia hidrográfica foi à unidade territorial escolhida para realizar esse diagnóstico geoambiental, tendo em vista a sua delimitação espacial como unidade de planejamento e gestão. Esse estudo se fundamentou nas bases teórico-metodológica do método sistêmico e na análise geossistêmica, onde foi possível caracterizar os sistemas ambientais, identificando as inter-relações dos componentes geoambientais e indicando as áreas mais vulneráveis à erosão da bacia.

A utilização de técnicas e ferramentas como o sensoriamento remoto e os sistemas de informações geográficas tiveram destaque no levantamento, armazenamento, cruzamento e análise dos dados e informações sobre os componentes ambientais e de uso da terra da bacia hidrográfica, e possibilitou uma análise de toda sua extensão territorial.

A bacia hidrográfica do rio Jaibaras possui uma diversidade paisagística que reflete diretamente nas suas condições de uso e ocupação. Essas diversidades foram compartimentadas em quatro sistemas ambientais, Depósitos Quarternários, Depressão Sertaneja, Maciços Residuais e Planalto

Sedimentar da Ibiapaba, e esses sistemas foram subdivididos em dez subsistemas, cada um com suas características naturais que possuem certo grau de homogeneidade fisionômica, sendo observadas as condições de uso e ocupação, configurando, nessa perspectiva, os principais impactos ambientais na bacia.

Os trabalhos de campos foram fundamentais para execução de todos os levantamentos dos recursos naturais da bacia, possibilitando uma análise mais apurada e concreta das áreas mapeadas.

A determinação do grau de vulnerabilidade à erosão, de acordo com os parâmetros propostos por Crepani *et al.* (1996), mostrou-se eficaz, cabe chamar a atenção para a necessidade de adaptações para a realidade cearense, sendo possível assim, determinar sua vulnerabilidade, considerando a relação pedogênese/morfogênese.

Para o ano de 1985 a bacia hidrográfica do rio Jaibaras apresentou de sua extensão total: 1,40% de ambiente estável (prevalecendo a pedogênese); 1,18% para estabilidade moderada; 67,58% para ambiente em equilíbrio morfodinâmico; 29,45% de vulnerabilidade moderada; e 0,40% de altamente vulnerável (Morfogênese).

Já para o ano de 1996 houve modificação para esses valores, apresentando de sua extensão total: 1,02% de ambiente estável (prevalecendo a pedogênese); 2,39% para estabilidade moderada; 62,71% para ambiente em equilíbrio morfodinâmico; 33,56% de vulnerabilidade moderada; e 0,32% de altamente vulnerável (Morfogênese).

No ano de 2009 os valores percentuais apresentados para toda a extensão da bacia foram: 0,97% de ambiente estável (prevalecendo a

pedogênese); 1,25% para estabilidade moderada; 68,07% para ambiente em equilíbrio morfodinâmico; 29,42% de vulnerabilidade moderada; e 0,29% de altamente vulnerável (Morfogênese).

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às seguintes instituições: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES; ao Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal do Ceará - UFC; ao Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará - IPECE.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BECKER, B. K.; EGLER, C. A. G. **Detalhamento da Metodologia para Execução do Zoneamento Ecológico-Econômico pelos Estados da Amazônia Legal**. Brasília. SAE-Secretaria de Assuntos Estratégicos/MMA-Ministério do Meio Ambiente. 1996, 40 p.

BERTRAND, G. **Paisagem e geografia física global: esboço metodológico**. São Paulo: Editora Gráfica Cariú, Caderno de Ciências da terra, 1972, 12 p.

BRASIL, Ministério das Minas e Energia. Projeto RADAMBRASIL. 1981. **Folhas 24/25 Jaguaribe/Natal. Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação e Uso do Solo**. Rio de Janeiro, p 353-360, 489-493.

BRITO NEVES, B. B.; SANTOS, E. J.; VAN SCHMUS, W. R. -2000- **Tectonic history of the Borborema Province, Northeastern Brazil. In: Tectonic evolution of South America**. Ed. Cordani, U.G; MILANI, E.J.; THOMAZ FILHO, A.; CAMPOS. D.A. -Rio de Janeiro: 31º International Geological Cong., 2000.

CÂMARA, G. & MEDEIROS, J. S. de. **Geoprocessamento para projetos ambientais**. São José dos Campos. INPE, 1996. 39p. (Relatório do INPE).

CPRM, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. **Mapa Geológico do Estado do Ceará**. Escala 1:500.000, 2003.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S. DE; AZEVEDO, L. G. DE; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V.; **Curso de sensoriamento remoto aplicado ao zoneamento**

**ecológico-econômico**. São José dos Campos: INPE, 1996, 19 p.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S. DE ; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C. C. F. **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao Ordenamento Territorial**. São José dos Campos: INPE, 2001, 124 p.

CREPANI, E. **Banco de Dados Geográficos dos Municípios de Gilbués e Monte Alegre do Piauí (Pi) (Municípios Pertencentes ao Núcleo de Desertificação de Gilbués)**. São José dos Campos: INPE, 2009, 5185-5192 p.

CUNHA, S.B.; GUERRA, A. J. T. **Degradação Ambiental**. In: CUNHA, S.B.; GUERRA, A. J. T. **Geomorfologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996, 372 p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 1999. 306 p.

FIGUEREIDO. **Atlas do Ceará**. Fortaleza: IPLANCE, 1997, 64 p.

FUNCEME. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. Monitoramento das chuvas. Disponível em <<http://www3.funceme.br/plone/monitoramento/DownloadChuvasPublico.php>>. Fortaleza, acessado em : Março de 2011.

GOMES, D. D. M. **Análise da Degradação da Cobertura Vegetal da Bacia Hidrográfica do Rio Jaibas / Ce por Meio de Ferramentas de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto**. 2010. Monografia (Especialização em Geoprocessamento Aplicado à Análise Ambiental e Recursos Hídricos) - Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza – CE, 146 p.

GOMES, D. D. M. **Geoprocessamento Aplicado a Análise da Vulnerabilidade à Erosão na Bacia Hidrográfica do Rio Jaibas – Ceará**. 2011. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Geologia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza – CE, 131 p.

GOMES, D. D. M.; MEDEIROS, C. N. DE; ALBUQUERQUE, E. L. S. **Mapeamento dos Níveis de Degradação da Cobertura Vegetal da Bacia Hidrográfica do Rio Jaibas no**

**Semiárido Cearense Para o Período de 1985 a 2009.** Fortaleza: IPECE, 2011. 27p. (Série Textos para discussão do Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará / nro. 93). Disponível em <[http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/textos\\_discussao/TD\\_93.pdf](http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/textos_discussao/TD_93.pdf)>. Acesso em: 01 jul. 2011.

GOMES, D. D. M.; MENDES, L. M. S.; MEDEIROS, C. N. DE; VERISSIMO, C. U. V. **Análise Multitemporal do Processo de Degradação da Vegetação da Bacia Hidrográfica do Rio Jaibaras no Estado do Ceará.** Revista Geografia Ensino & Pesquisa, Vol. 15, n. 2, 2011, 41-62 p.

INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Catálogo de Imagens.** São José dos Campos, 2011. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>> Acesso em Janeiro, 2011.

LIMA, J.P.R.; FONTES, S. L. **Caracterização geológica das principais feições tectono estruturais da parte sudeste da Bacia do Parnaíba.** VII Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, Bahia, 84-87, 1999.

MARKHAM, B.L.; BARKER, J.L. **Remote Sensing of Environment. Radiometric Properties of U.S. processes Landsat MSS data.,** 22(?):39-71, 1987.

RODRIGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V. da. A classificação das paisagens a partir de uma visão geossistêmica. **Mercator - Revista de Geografia da UFC,** ano 01, número 01, 2002, 95 – 112 p.

SOUZA, M.J.N. de. et al. **Geossistemas e potencialidades dos recursos naturais: serra de Baturité e áreas sertanejas diversas.** Fortaleza: FNMA/UFC/FUNCEME, 1994.

SOUZA, M.J.N. de. Bases naturais e esboço do zoneamento geoambiental do estado do Ceará. In: LIMA, L.C.; SOUZA, M.J.N.; MORAIS, J.O. **Compartimentação territorial e gestão regional do Ceará.** Fortaleza: FUNECE, 2000, 268 p.

SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. Camara G, Souza RCM, FreitasUM, Garrido J *Computers & Graphics*, 20: (3) 395-403, May-Jun 1996.

TORQUATO, J. R. & NOGUEIRA NETO, J. A. **Historiografia da Região de Dobramentos do Médio**