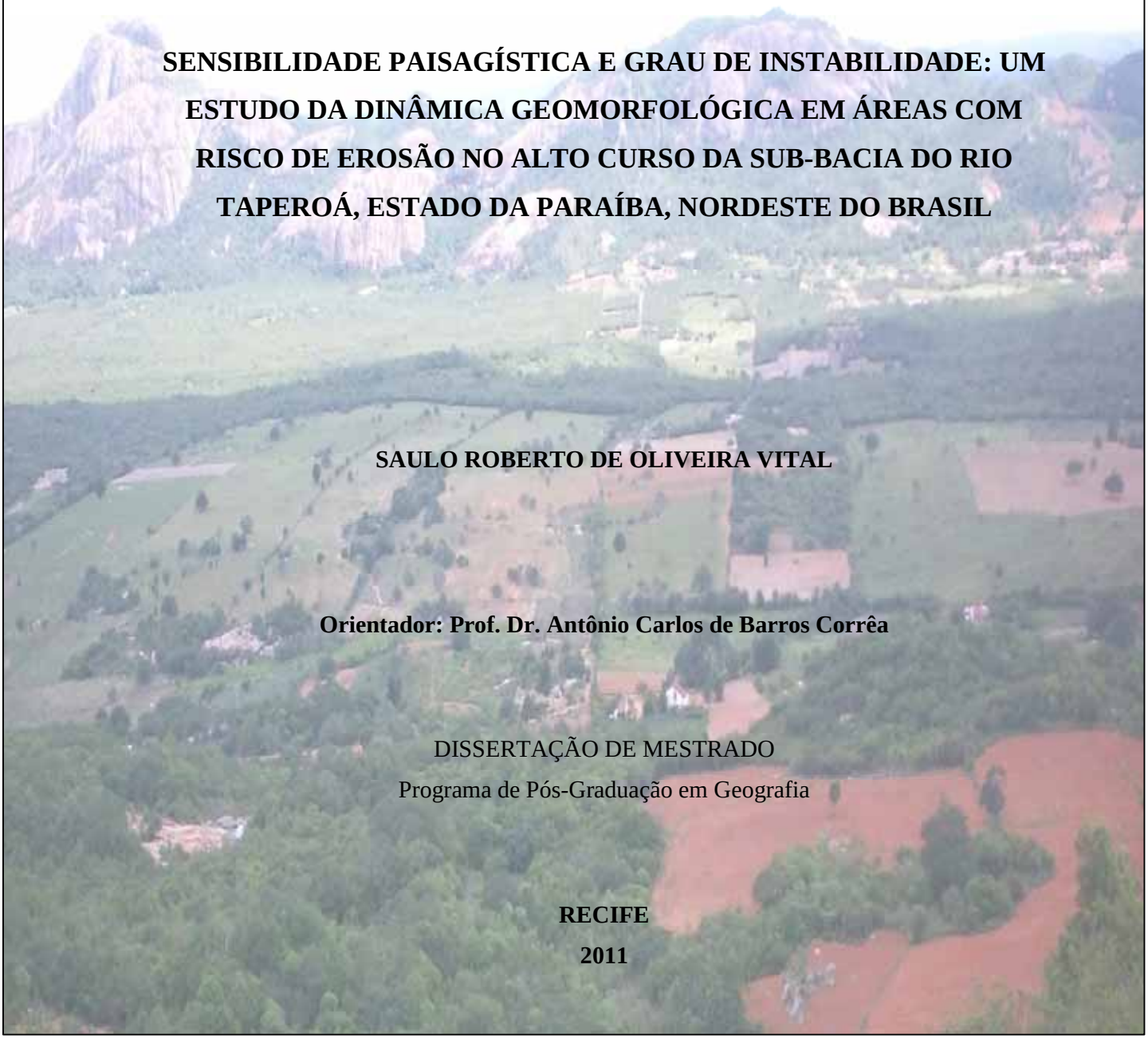
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS

DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS GEOGRÁFICAS



SENSIBILIDADE PAISAGÍSTICA E GRAU DE INSTABILIDADE: UM ESTUDO DA DINÂMICA GEOMORFOLÓGICA EM ÁREAS COM RISCO DE EROSÃO NO ALTO CURSO DA SUB-BACIA DO RIO TAPEROÁ, ESTADO DA PARAÍBA, NORDESTE DO BRASIL

SAULO ROBERTO DE OLIVEIRA VITAL

Orientador: Prof. Dr. Antônio Carlos de Barros Corrêa

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Programa de Pós-Graduação em Geografia

RECIFE

2011

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS

DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS GEOGRÁFICAS

SENSIBILIDADE PAISAGÍSTICA E GRAU DE INSTABILIDADE: UM ESTUDO DA DINÂMICA GEOMORFOLÓGICA EM ÁREAS COM RISCO DE EROSÃO NO ALTO CURSO DA SUB-BACIA DO RIO TAPEROÁ, ESTADO DA PARAÍBA, NORDESTE DO BRASIL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia do Centro de Filosofia e Ciências Humanas da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Geografia, área de concentração: Regionalização e Análise Regional.

RECIFE

2011

Catalogação na fonte
Bibliotecária Maria do Carmo de Paiva, CRB4-1291

V836s Vital, Saulo Roberto de Oliveira.
Sensibilidade paisagística e grau de instabilidade : um estudo da dinâmica geomorfológica em áreas com risco de erosão no alto curso da sub-bacia do rio Taperoá, Estado da Paraíba, Nordeste do Brasil / Saulo Roberto de Oliveira Vital. – Recife: O autor, 2011.
110 f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Antônio Carlos de Barros Correia.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco. CFCH. Programa de Pós–Graduação em Geografia, 2011.
Inclui bibliografia.

1. Geografia. 2. Geomorfologia. 3. Erosão. 4. Degradação ambiental. 5. Taperoá, Rio (PB). I. Correia, Antônio Carlos de Barros (Orientador). II. Titulo.

910 CDD (22.ed.) UFPE (CFCH2011-28)

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO - UFPE
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS – CFCH
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS GEOGRÁFICAS - DCG
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO DEM GEOGRAFIA

SAULO ROBERTO DE OLIVEIRA VITAL

Título: "SENSIBILIDADE PAISAGÍSTICA E GRAU DE INSTABILIDADE: UM **ESTUDO DA DINÂMICA GEOMORFOLÓGICA EM ÁREAS COM RISCO** DE EROSÃO NO ALTO CURSO DA SUB-BACIA DO RIO TAPEROÁ, ESTADO DA PARAÍBA, NORDESTE DO BRASIL "

BANCA EXAMINADORA

TITULARES:

Orientador: _____
Prof. Dr. Antônio Carlos de Barros Corrêa (UFPE)

1º. Examinador: _____
Prof. Dr. Max Furrier (UFPB)

2º. Examinador: _____
Prof. Dr. Osvaldo Girão da Silva (UFRPE)

APROVADA em 04 de março de 2010.

RCMS

Dedico este trabalho em memória do meu avô Eufrásio, que partiu recentemente para a morada eterna do Pai.

AGRADECIMENTOS

Ao término de mais esta etapa de minha vida, gostaria de prestar meus sinceros agradecimentos a todas as pessoas e instituições que tornaram possível a conclusão desta pesquisa.

Em primeiro lugar, agradeço a Deus Todo Poderoso, que me concedeu a oportunidade de cursar este mestrado através de sua divina providência.

À Virgem Doce Mãe de Deus, por sua intercessão e presença constante em minha vida.

À Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) e ao Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGEO), por terem me proporcionado a valiosa oportunidade de um sólido aprendizado neste departamento, tão abrilhantado pelos ilustres e memoráveis mestres Gilberto Osório de Andrade e Manuel Correia de Andrade.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pela concessão da bolsa de estudos durante todo o período de desenvolvimento desta pesquisa.

Ao Prof. Dr. Antônio Carlos de Barros Corrêa pelas contribuições como orientador desta pesquisa.

A minha família, através da pessoa da minha esposa Hamanda e da minha filha Sarah, pela paciência nos momentos de ausência.

A minha mãe, a quem devo sinceros agradecimentos por ter apoiado todo o meu processo educativo. Desde a infância até a idade adulta, sempre acreditou e me apoiou nos momentos difíceis e decisivos de minha vida, me auxiliando emocionalmente e financeiramente. Sem ela não teria chegado até aqui.

Ao meu amigo Bruno Ferreira, pelo imenso e indispensável apoio em todo o mestrado, desde o primeiro dia de aula até o presente me apoiou por diversas vezes. Também pelo valioso apoio nos trabalhos de campo. Posso dizer: um verdadeiro, sincero e confiável amigo.

A amiga Daniele Silva, por sua imensa paciência e disponibilidade em sempre ajudar nos momentos difíceis desta pesquisa.

Ao amigo Lucas Cavalcanti pela humildade e disponibilidade em ajudar nos trabalhos de campo e demais tarefas.

Ao meu amigo Thyago Silveira, por ser um verdadeiro irmão e companheiro na vida acadêmica, sempre esteve disponível a ajudar e doar do seu tempo para contribuir com esta pesquisa.

Aos colegas do Departamento de Cartografia da Universidade Federal de Pernambuco (DECART/UFPE), Diego, João e Thyago com os quais compartilhei apartamento durante um ano, no período de cumprimento dos créditos do mestrado. Pelo imenso e rico aprendizado na área de cartografia, fruto da disponibilidade e boa vontade em compartilhar comigo seus conhecimentos.

Aos meus amigos e mestres do curso de Geografia da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Prof. Bartolomeu Souza e Prof. Eduardo Viana, pela imensa contribuição através de atendimentos e sugestões. Para mim são modelos de profissionais humanos e, sobretudo humildes.

Aos colegas de equipe do Laboratório de Geografia Física Aplicada da Universidade Federal de Pernambuco (LGFA/UFPE).

Aos colegas de equipe do Laboratório de Estudos Geológicos e Ambientais da Universidade Federal da Paraíba (LEGAM/UFPB).

Aos colegas do Laboratório de Paleontologia da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).

Ao povo dos municípios de Desterro e Taperoá, que durante a realização dos trabalhos de campo nos transmitiram uma honrosa hospitalidade e simplicidade típica do povo paraibano e nordestino.

Por fim, a todos que contribuíram de forma direta ou indireta com esta pesquisa.

“[...] foi Ele quem me deu a verdadeira ciência de todas as coisas, que me fez conhecer a constituição do mundo e as virtudes de seus elementos [...] a sucessão dos solstícios e as mutações das estações [...]”.

Livro de Sabedoria 7, 17-18b

RESUMO

A visão morfodinâmica da paisagem é uma importante ferramenta conceitual que pode fornecer dados bastante consistentes acerca dos processos geomorfológicos e do nível de degradação da estrutura superficial da paisagem. Para esta tarefa, os SIGs constituem-se como importantes ferramentas aliadas à Geomorfologia, capazes de gerar produtos satisfatórios na análise da paisagem e de seus processos. Tomando como base este princípio, o objetivo principal deste trabalho consiste em analisar as principais variáveis condicionantes dos processos erosivos e deposicionais na bacia do alto Taperoá, Estado da Paraíba, levando em consideração os impactos gerados sobre a estrutura superficial da paisagem, criadores de morfologias erosivas e deposicionais, com base no resgate da geomorfologia e do uso e ocupação da área. Para isso, foram utilizados dados espaciais da missão SRTM e do satélite LANDSAT 7 (ETM+), empregados na confecção dos mapas temáticos de declividade, uso e cobertura da terra, geomorfologia e hipsometria. Estes produtos foram utilizados para a confecção de um mapa morfodinâmico na escala 1:100.000 através do método de intersecção entre camadas (polígonos), representando as áreas fortemente instáveis, intermediárias e estáveis, seguindo fielmente a escala morfodinâmica de Tricart (1977). A partir da análise destas informações percebeu-se que a bacia do alto Taperoá-PB encontra-se sob condições de forte controle tectônico exibindo formas hierarquizadas a partir da distribuição litológica e das estruturas deformacionais a elas associadas, nitidamente controladas por zonas de cisalhamento mesoproterozóicas. Esta característica natural controla até certo ponto a distribuição das áreas fortemente instáveis na área de estudo, que encontram-se atreladas às escarpas controladas por falhas além das regiões de cimeira. Além disso, notou-se que o uso da terra tem gerado significativas parcelas fortemente instáveis nas regiões do plaino aluvial, totalizando cerca de 5% da área total da bacia. Do mesmo modo os 35% de áreas *intergrades* representam um risco potencial a erosão nas áreas do pedimento rochoso sendo possivelmente um dos principais responsáveis pelo aumento na produção de sedimentos. Por fim, os 65% de áreas estáveis indicaram para esta bacia uma relativa situação de preservação, sem, no entanto, apontar para um quadro de despreocupação.

Palavras-chave: morfodinâmica, erosão, degradação, bacia do alto Taperoá-PB.

ABSTRACT

The landscape morphodynamics view is an important conceptual tool that can provide consistent data about geomorphological processes and the degradation level of superficial structure of the landscape. For this work, the GIS are important tools allied the Geomorphology, capable to make satisfactory products in the analysis of the landscape and its processes. Based on this principle, the principal objective of this work was to analyze the principal conditioning variables of erosion processes and depositional in the high Taperoá basin, Paraiba State, considering the impacts on the superficial structure of the landscape, creators of erosive morphologies and depositional, based on the geomorphology rescue and of use and occupation of the area. For this, we used spatial data from SRTM mission and Landsat 7 (ETM +) satellite, used to produce thematic maps of slope, land use and land cover, geomorphology and hypsometry. These products were used for made a morphodynamic map, at 1:100.000 scale, resulted of the intersection method between layers (polygons), representing the highly unstable areas, intermediate and stable, following faithfully the morphodynamic scale of Tricart (1977). From this information analysis was noted that the high Taperoá basin is located under conditions of strong tectonic control presenting hierarchical forms from the lithological distribution and in the deformational structures related to it, clearly controlled by Mesoproterozoic shear zones. This natural feature controls, until some point, the distribution of highly unstable areas in the study area, which are attached the controlled scarps by fail beyond the cyme regions. Furthermore, it was noted that the land use has generated significant unstable strongly portions in the alluvial plain regions, totaling about 5% of total area basin. Similarly 35% of areas intergrades represent a potential erosion risk in the rocky pediment areas, are possibly one of principal responsible to increase in sediment production. Finally, the 65% stable areas indicated, to this basin, a relative preservation situation, without, however, pointing to none preoccupation situation.

Keywords: morphodynamics, soil erosion, degradation, high Taperoá-PB basin.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1a - Perfil de uma vertente representando o balanço morfogenético com a ação predominante dos componentes perpendiculares (infiltração) 22

Figura 1b - Perfil de uma vertente representando o balanço morfogenético com a ação predominante dos componentes paralelos (escoamento superficial) 22

Figura 2 - Estruturação do geossistema e do sistema sócio-econômico 26

Figura 3 - Esboço de uma definição teórica de geossistema 26

Figura 4 - Representação ilustrativa de uma bacia hidrográfica e sub-bacias delimitadas por pontos de saída 30

Figura 5 - Diferentes conceitos encontrados na literatura a respeito de sub-bacia 31

Figura 6 - Diferentes conceitos encontrados na literatura a respeito de sub-bacia 32

Figura 7 - Mapa de localização da bacia do alto curso do rio Taperoá-PB 37

Figura 8 - Barragem Manoel Marcionilo, saída do município de Taperoá-PB 38

Figura 9 - Metagranitóide exibindo dobras do evento Cariris Velhos 40

Figura 10 - Mapa das unidades geológicas da bacia do alto Taperoá-PB 42

Figura 11 - Perfil topográfico ilustrativo do Estado da Paraíba 43

Figura 12 - Mapa pedológico da bacia do alto curso Taperoá-PB 49

Figura 13 - Índice de Anomalia de Chuva para a sub-bacia do rio Taperoá-PB segundo Araújo et al., (2008) 52

Figura 14a - Imagem do Satélite Meteosat, Banda Color IR9 para o dia 14/04/2009 55

Figura 14b - Imagem do Satélite Meteosat, Banda SPW 10.8 para o dia 14/04/2009. Notar frente fria sobre o Sertão de Pernambuco e Paraíba. Fonte (INPE, 2009) 55

Figura 15 - Plantação de palma associada a milho em rampas de colúvio na altura do município de Taperoá-PB 57

Figura 16 - Organograma representando os níveis metodológicos empregados na pesquisa (2007) 61

Figura 17 - Área delimitada após o processo automático de extração das drenagens 65

Figura 18a - Relevo sombreado do setor centro-sul da bacia. Notar visualização dos lineamentos e formas do relevo 67

Figura 18b - Hipsometria sobreposta ao relevo sombreado com tom de transparência no setor centro-sul da bacia 67

Figura 19 - Procedimento de georreferenciamento da imagem Landsat 7 ETM+, utilizando as rodovias como referência 70

Figura 20 - Operações topológicas entre polígonos 73

Figura 21 - Interseção entre duas camadas 74

Figura 22 - Mapa da divisão tectono-estratigráfica da Paraíba e imagem de satélite representando o desnível entre superfícies causada por movimentação tectônica, com destaque para *linha sienitóide* 79

Figura 23 - Perfil 1 representando a transição entre a superfície pedimentar (600m), escarpa de recuo de falha e as áreas bastante elevadas (850m) 80

Figura 24 - Visão do maciço residual “Serra das Almas”, município de Taperoá-PB 81

Figura 25 - Perfil 2 representando a porção sul da bacia do alto Taperoá, com destaque para os alinhamentos e para dissecação das encostas 82

Figura 26 - Maciço residual em crista seguindo a direção preferencial das linhas de falhas do terreno 83

Figura 27 - Toposequência dos solos e unidades geomorfológicas acrescidas de elementos da flora e uso do solo 84

Figura 28 - Rio erodindo as margens do seu canal e expondo o embasamento rochoso. Riacho dos porcos, município de Desterro-PB 85

Figura 29 - Crosta salina formada às margens do rio Taperoá na área da barragem do açude Taperoá II 85

Figura 30 - Sinais de erosão linear em um canal fluvial na altura do município de Taperoá-PB 89

LISTA DE GRÁFICOS E TABELAS

Tabela 1 - Erosão em solos do trópico semi-árido 48

Tabela 2 - Classes de declividade segundo a EMBRAPA 68

Tabela 3 - Diferentes respostas entre as imagens LANDSAT 7 e CBERS 2 para mapeamento temáticos em diferentes escalas 69

Gráfico 1 - Relação da média erosiva entre os solos presentes na área de estudo 49

Gráfico 2 - Pluviosidade no município de Desterro-PB entre os anos 2000-2009..... 53

Gráfico 3 - Pluviosidade entre os meses de janeiro e dezembro no município de Desterro-PB 54

Gráfico 4 - Distribuição da pluviosidade em abril de 2009 no município de Desterro-PB. Notar a elevada intensidade pluviométrica entre os dias 13 e 15 55

Gráfico 5 - Evolução do nível de degradação das terras no município de Taperoá entre os anos de 1984-2005 59

Gráfico 6 - Representação do percentual de abrangência de cada classe do mapa de cobertura da terra 87

Gráfico 7 - Representação em percentual das classes do mapa morfodinâmico da bacia do alto Taperoá-PB 89

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AESA - Agência Executiva de Águas do Estado da Paraíba
CPRM - Serviço Geológico do Brasil
EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FPA - Frente Polar Atlântica
FPB - Faixa Piancó Alto-Brígida
INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
MDE - Modelo Digital de Elevação
MNT - Modelo Numérico do Terreno
PNMH - Programa Nacional de Microbacia Hidrográfica
SIG - Sistema de Informação Geográfica
SRTM - Shuttle Radar Topography Mission
TAP - Terreno Alto Pajeú
TOPODATA - Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil
TSM - Temperatura da Superfície do Mar
UFPE - Universidade Federal de Pernambuco
ZANE - Zoneamento Agroecológico do Nordeste
ZCIT - Zona de Convergência Intertropical
ZCOU - Zona de Convergência de Umidade

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS 6
RESUMO 10
ABSTRACT 11
LISTA DE FIGURAS 12
LISTA DE GRÁFICOS E TABELAS 14
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS 15

1. INTRODUÇÃO 17

2. OBJETIVOS 20
2.1. Objetivos gerais 20
2.2. Objetivos específicos 20

3. REVISÃO DA LITERATURA 21
3.1. Princípios da análise morfodinâmica 21
3.2. A visão geossistêmica nos estudos de morfodinâmica 25
3.3. Erosão em ambiente semi-árido 27
3.4 A bacia hidrográfica como unidade de planejamento ambiental 29
3.5. Sistemas de Informação Geográfica para análise ambiental 33

4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO 37
4.1. Localização 37
4.2. Geologia 39
4.2.1. Suíte Granítica Cariris Velhos (Mesoproterozóico) 39
4.2.2. Super Suítes (Neoproterozóico) 41
4.2.3. Coberturas elúvio-coluviais 41
4.3. Geomorfologia 43
4.4. Solos 45
4.4.1. Luvissolos 45
4.4.2. Neossolos regolíticos 46
4.4.3. Neossolos litólicos 46
4.5. Clima 50
4.6. Cobertura vegetal e Uso do Solo 56

5. MATERIAIS E MÉTODO 60
5.1. Nível compilatório 62
5.1.1. Levantamento bibliográfico 62
5.1.2. Obtenção das informações cartográficas 63
5.1.3. Técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto 64
5.2. Nível correlatório 66
5.2.1. Seleção das variáveis ambientais 66
5.3. Nível semântico 71
5.3.1. Regras de correlação entre as variáveis 71
5.4. Nível normativo 72

5.4.1. Obtenção do mapa morfodinâmico 72
5.5. Trabalhos de campo 74

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO 76
6.1. Dinâmica geomorfológica 76
6.1.1. Compartimentação geomorfológica da paisagem 76
6.1.2. Aspectos do mapa hipsométrico e clinográfico 78
6.2. Dinâmica do uso e ocupação do solo 83
6.3. Quadro morfodinâmico 87
CONCLUSÃO 91
REFERÊNCIAS 94

1 INTRODUÇÃO

O relevo é a unidade da paisagem que comporta todos os fenômenos físicos e sociais (CASSETI, 1991). Desse modo, o processo de apropriação e transformação da natureza age diretamente sobre a morfologia terrestre, provocando dentre outros problemas, a erosão dos solos.

Em regiões semi-áridas as características peculiares de seus agentes físico-naturais conferem a este ambiente uma exclusividade no tocante à sua análise. A ação dominante do intemperismo físico aliado a variação espaço-temporal das precipitações contribuem substancialmente para o balanço morfogenético positivo, dando origem a uma pedogênese de baixo grau.

A partir deste quadro, subtende-se que este ambiente necessita de estudos mais aprofundados acerca de sua dinâmica geomorfológica, tendo em vista que o atual período de expansão das atividades econômicas tem provocado a substancial degradação do bioma Caatinga, onde se encontram fortes sinais de degradação da estrutura superficial da paisagem.

Este bioma possui claras peculiaridades físico-naturais, o que o confere uma importância superlativa no tocante à biodiversidade de sua flora. Atualmente no Brasil mais de 40% de suas terras já se encontram sobre forte processo de degradação. As principais atividades causadoras deste impacto são representadas pela extração de madeira para utilização em olarias e também pela extração de argila nos leitos fluviais para o mesmo fim, além disso, a crescente expansão da caprinocultura tem gerado grandes problemas ambientais.

Um dos atuais problemas diz respeito à crescente produção de sedimentos ao longo das décadas. Esta questão é resultado do avanço das atividades agropecuárias tradicionais em largas parcelas do semi-árido. A falta de subsídio governamental no tocante ao emprego de técnicas sustentáveis tem gerado um processo de degradação cada vez mais crescente.

Diante deste quadro, os estudos tratando da dinâmica geomorfológica em ambiente semi-árido, tomando como base a dinâmica de uso do solo, ainda são bastante escassos. No tocante ao mapeamento geomorfológico afirma-se o mesmo, principalmente no estado da

Paraíba, o qual ainda carece de produtos desta natureza, tendo em vista que a grande parcela dos trabalhos se desenvolve em áreas tropicais úmidas.

Para o entendimento deste processo a análise morfodinâmica da paisagem se constitui como uma metodologia bastante aplicável, tendo em vista que o balanço entre morfogênese e pedogênese muitas vezes é alterado pela ação antrópica, uma vez que, pode provocar mudanças significativas na dinâmica geomorfológica.

Na Paraíba, uma das regiões mais afetadas por este processo tem sido a microrregião do Cariri, que tem apresentado fortes sinais de degradação da paisagem. Os problemas atuais que se desenvolvem nesta região de acordo com Souza (2008) passam por uma revisão minuciosa do seu processo histórico de ocupação. Deste modo, entende-se que a forma eminentemente predatória da apropriação deste ambiente se passa desde o início da colonização européia, originando um vasto processo de degradação nesta região, principalmente através do desmatamento para a expansão da agropecuária e diversos tipos de uso da vegetação (cercas, lenha, carvão, etc.)

Um dos maiores problemas desta região encontra-se no modo de lidar com a terra, que se intensifica cada vez mais pelo crescimento populacional e pela diminuição do tamanho das propriedades. A expansão da produção do algodão em algumas parcelas provoca a ampliação das queimadas nas caatingas. No intuito de aumentar o espaço destinado à agricultura, a pecuária é forçada a conquistar novos espaços nas propriedades. A partir de então, as paisagens desta região tornam-se profundamente alteradas (SOUZA, 2008).

Atualmente, no município de Taperoá-PB, entre os anos de 1980 e 2000, a cobertura vegetal foi consideravelmente reduzida, acarretando em graves problemas ambientais como perda de solo, o que ocasionou o assoreamento dos rios e reservatórios naturais e artificiais. De acordo com Duarte et al., (2009), a classe de cobertura da terra “muito densa” representava 77,13 km^2 em 1984, passando a representar 51,82 km^2 em 2005. Concomitantemente, as classes de cobertura semi-rala e solo exposto aumentaram significantemente de 219,45 km^2 em 1984 para 329,87 em 2005.

Esta situação revela um quadro de certo alerta, sendo necessária a execução de estudos que visem averiguar com mais precisão o comportamento atual da morfodinâmica neste ambiente, contribuindo deste modo, para a gestão dessas áreas.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

No intuito de averiguar mais profundamente o problema da erosão no alto curso da sub-bacia do rio Taperoá-PB, este trabalho tem como objetivo, analisar as principais variáveis condicionantes dos processos erosivos e deposicionais na bacia do alto Taperoá, no estado da Paraíba, levando em consideração os impactos gerados sobre a estrutura superficial da paisagem, criadores de morfologias erosivas e deposicionais, com base no resgate do uso e ocupação da área e no estudo geomorfológico.

Para isso, serão levantadas informações acerca da geomorfologia e cobertura da terra, que serão empregadas na construção de um mapa morfodinâmico da área, representando a tipologia de Tricart (1977), tendo em vista que as áreas fortemente instáveis são parcelas onde os processos erosivos apresentam-se dominantes, como fruto do elevado grau de antropismo.

2.2 Objetivos específicos

- realizar o mapeamento temático da bacia, considerando os seguintes temas: declividade, hipsometria, geomorfologia e cobertura da terra;
- realizar um reconhecimento detalhado em campo das principais feições erosivas ocorrentes, estabelecendo relações entre o relevo e o uso do solo no tocante à sua gênese;
- criar um mapa morfodinâmico para a bacia do alto Taperoá-PB, utilizando-se da tipologia de Tricart (1977), no intuito de colher informações acerca da vulnerabilidade à erosão na área de estudo;
- contribuir com estas informações para a gestão ambiental na área, conscientizando os órgãos competentes acerca da necessidade de preservação dos sistemas ambientais nesta área.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Princípios da análise morfodinâmica

As pesquisas relacionadas à morfodinâmica originaram-se a partir da inserção da teoria sistêmica nos estudos geomorfológicos, com a proposta de Chorley (1962). No Brasil, esta abordagem tornou-se bastante disseminada e aplicada a partir dos estudos desenvolvidos por Tricart (1977).

A morfodinâmica depende da interação entre o clima, a topografia, o solo, material rochoso e a cobertura vegetal. Dentre estes fatores, a vegetação possui um papel de extrema importância; o de impedir a ação dos fenômenos erosivos, sobretudo em regiões onde a mesma se apresenta bem conservada (TRICART, 1977).

Segundo a proposta de Tricart (1977), existem três diferentes meios considerando a morfodinâmica:

1) *Meios estáveis*: são caracterizados pelo predomínio da pedogênese sobre os processos erosivos. Neste meio, a cobertura vegetal atua impedindo o desenvolvimento dos processos mecânicos capazes de gerar dissecação. Tricart denomina este fenômeno como *fitoestabilidade*, levando em consideração o importante papel da vegetação na morfodinâmica (CASSETI, 1991).

2) *Meios fortemente instáveis*: neste momento o predomínio é da morfogênese. Este fenômeno pode resultar de flutuações climáticas e efeitos tectônicos ao longo do tempo geológico, ou de intervenções humanas na escala de tempo histórica. Para estes meios a pedogênese torna-se nula ou incipiente (CASSETI, 1991).

3) *Meios intergrades*: caracteriza-se como um meio transicional. Segundo Casseti (1991), refere-se ao estado de modificação do sistema fitoestável antes de ultrapassar o limiar de recuperação, proporcionando a possibilidade de restauração ou de transformar-se em um meio fortemente instável permanentemente.

O princípio da morfodinâmica estabelece como base o balanço entre morfogênese e pedogênese, para determinar o grau de instabilidade paisagística. Assim, o balanço morfogenético é estabelecido pela relação entre os componentes (perpendicular e paralelo). O perpendicular representa a ação da infiltração, favorecida pela cobertura vegetal; a qual implica em alterações de natureza bioquímica e abre caminho para a pedogênese. Enquanto isso, o paralelo caracteriza o efeito erosivo, favorecido pela retirada da cobertura vegetal e abrindo caminho para ação direta dos agentes morfoesculturais (CASSETI, 1991).

No momento em que predomina a componente perpendicular, a vertente encontra-se revestida de cobertura vegetal, caracterizando um momento de *biostasia*, onde a atividade morfogenética é bastante incipiente ou nula; marcando um equilíbrio climáxico (Figura 1a) (CASSETI 1991).

Em outra situação, a *resistasia*, constitui o momento em que a cobertura vegetal é retirada, como resultado das alterações climáticas (escala de tempo geológico) ou da degradação processada pela ação antropogênica (escala de tempo histórica). Neste momento, a morfogênese domina a dinâmica da paisagem, caracterizando um desequilíbrio climáxico através da intensa erosividade (Figura 1b) (CASSETI, 1991).

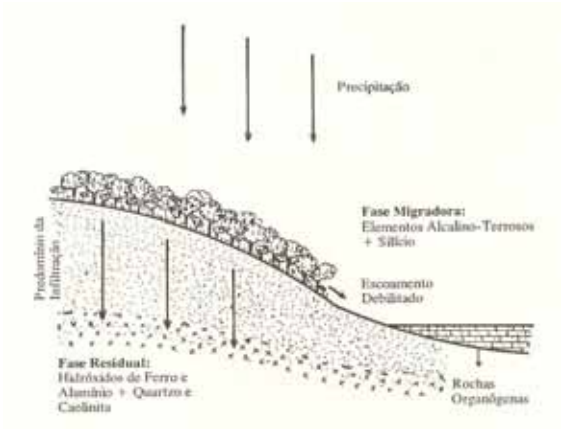


Figura 1a – Perfil de uma vertente representando o balanço morfogenético com a ação predominante dos componentes perpendiculares (infiltração). Fonte: Casseti (1991).

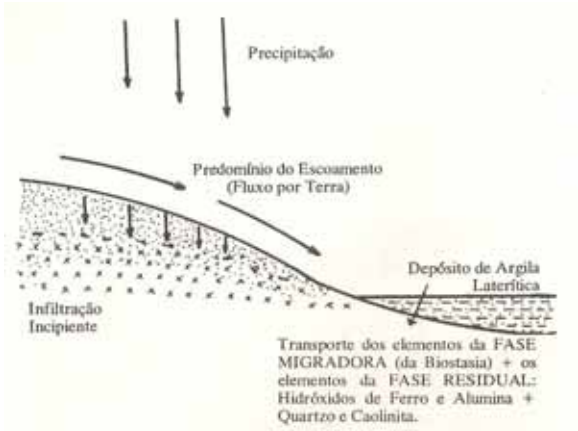


Figura 1b – Perfil de uma vertente representando o balanço morfogenético com a ação predominante dos componentes paralelos (escoamento superficial). Fonte: Casseti (1991).

A modificação da cobertura vegetal interfere sobre o valor econômico da água e sobre o processo de formação dos solos, sendo estas, algumas das conseqüências capazes de gerar

perdas econômicas e materiais por meio da intensificação ou progressão da morfogênese (TRICART, 1977).

Além disso, outro exemplo diz respeito às interferências sobre o processo de evolução natural do relevo. A ocupação indevida das encostas, sobretudo para o desempenho da agropecuária, aumenta o regime de sedimentação na calha fluvial, como conseqüência da erosão. Este impacto altera a profundidade do rio, que passa a buscar um novo perfil de equilíbrio, processo este, conspicuamente notado por meio dos sinais de erosão nas margens dos canais fluviais (CUNHA e GUERRA, 1996).

Nesse contexto, a cobertura vegetal possui não somente a função de interceptar o impacto direto das gotas da chuva no solo, mas também o de dissipar a energia do material em deslocamento na vertente em função dos obstáculos existentes, dissipando a energia do fluxo prolixo e reduzindo a capacidade de transporte, o que minimiza a morfogênese e conseqüente o assoreamento dos talvegues (CASSETI, 1991).

Frente a esta problemática, os princípios da análise morfodinâmica apresentam-se como um caminho metodológico bastante viável e recomendável, sobretudo para o estudo de áreas semi-áridas, onde os fatores naturais e antrópicos têm contribuído fortemente para a alteração do ritmo morfogenético.

Tomando como base este princípio, Silveira et al., (2005) estabeleceram unidades ecodinâmicas de instabilidade potencial através da correlação entre informações de solos, geologia, declividade, forma de vertentes e erosividade das chuvas, indicando a configuração desses fatores na dinâmica natural da paisagem. Deste modo, os autores avaliaram e comprovaram a importância da inclusão do tema geologia para a delimitação das Unidades Ecodinâmicas de Instabilidade Potencial. Além disso, reforçaram a importância das ferramentas de Geoprocessamento para o avanço e agilidade no tratamento de informações desta natureza. Foram encontrados na área de estudos fatores naturais de alta propensão à instabilidade, como elevada intensidade pluviométrica, alta declividade e solos delgados.

Uma forma de aplicar os princípios da morfodinâmica em ambiente semi-árido foi realizada por Menezes et al., (2007). Os autores buscaram determinar o índice de

vulnerabilidade à erosão para a bacia do riacho Mulungu, Belém do São Francisco, PE, valendo-se dos princípios da Ecodinâmica de Tricart e auxiliados por técnicas de Geoprocessamento e sensoriamento remoto. Como resultado, foi estabelecido um índice de vulnerabilidade para a bacia, indicando o grau de propensão à erosão. Os dados obtidos reforçaram a idéia de que os processos de morfogênese encontram-se bastante intensificados no interior de uma bacia de primeira ordem em ambiente semi-árido, sobretudo devido ao reduzido papel da cobertura vegetal na prevenção da erosão, como verificado em vários pontos da área de estudo. Evidentemente, este quadro é potencializado pela intensidade pluviométrica, típica do regime climático do semi-árido, onde o solo encontra-se desprovido de cobertura vegetal não somente pelo caráter decíduo da vegetação, mas também por via das práticas agrícolas tradicionais que favorecem a reativação da morfogênese e a consequente produção de sedimentos grossos, colmatando as calhas fluviais.

Vasconcelos et al.,(2007) também buscaram avaliar uma área no semi-árido do Nordeste do Brasil a partir da perspectiva morfodinâmica. Para isso os autores tomaram como base o mapa geomorfológico de detalhe e o mapa de risco, sintetizando deste modo os processos superficiais predominantes na área e identificando os pontos de maior ou menor grau de instabilidade processual.

Azambuja (2007) aplicou o principio da morfodinâmica em uma área densamente ocupada, buscando caracterizar os impactos deste processo sobre os sistemas geomorfológicos da área. Para isso, utilizou como ferramenta o mapeamento geomorfológico e morfodinâmico de detalhe em diferentes anos, estabelecendo a relação entre a morfogênese, materiais componentes das formações superficiais, propriedade dos solos e processos operantes. Com isso conseguiu estabelecer uma forte relação entre as atividades antrópicas e o aumento da sensitividade da paisagem.

De acordo com Corrêa et al., (2011), a noção de sensitividade da paisagem é de extrema importância para a compreensão da evolução morfodinâmica. Os autores comentam a respeito dos eventos que contribuem para a retomada da ação morfodinâmica nos ambientes semi-áridos, sejam eles provenientes da ação humana ou desencadeados pela circulação atmosférica regional. Deste modo, a alteração da cobertura vegetal desencadeia uma série concatenada de fenômenos desestabilizadores, a exemplo de mudanças na resistência da

vegetação, intensificação do intemperismo mecânico e perturbação dos ecossistemas a jusante através das corridas de lama e acumulação de cascalho.

Em suma, de acordo com Tricart (1977), a análise morfodinâmica pressupõe a definição de quatro etapas principais para sua realização prática, são elas: (i) análise detalhada do sistema morfogenético e enumeração dos processos; (ii) estabelecimento do índice de cobertura vegetal e dos solos; (iii) análise do grau de degradação ambiental a partir da avaliação das conseqüências da ocupação antrópica e, por fim, (iv) a determinação do índice de estabilidade morfodinâmica a partir das relações morfogênese-pedogênese-reorganização do território.

3.2 A visão geossistêmica nos estudos de morfodinâmica

A visão geossistêmica concebida e amplamente disseminada por diversos estudiosos preocupados com a organização espacial consiste numa base sólida e atual para o desenvolvimento da Geografia Física enquanto ramo das ciências geográficas.

Conforme Christofoletti (1999), a concepção de geossistema, proveniente dos pesquisadores soviéticos, foi introduzida na França por Georges Bertrand no final da década de 1960, quando o autor tratou da estruturação da “Ecologia da Paisagem”. Para Christofoletti, esta visão enquadra-se perfeitamente no contexto das abordagens holísticas para o estudo dos sistemas ambientais, explicitadas pelas proposições relacionadas com a Ecodinâmica e a Ecogeografia.

A Geografia Física, como subárea da ciência geográfica, ocupa-se com o estudo da organização espacial dos sistemas ambientais físicos, onde estão incluídos os geossistemas (CHRISTOFOLETTI, 1999).

Além disso, esta perspectiva deve levar em consideração não somente os agentes do geossistema (geologia, relevo, clima, solos, vegetação...), mas também, os agentes do sistema sócio-econômico (agricultura, indústria, população, urbanização, mineração...), transformando-se em uma excelente metodologia de análise das transformações da paisagem, sob o ponto de vista do planejamento ambiental e territorial (Figura 2).

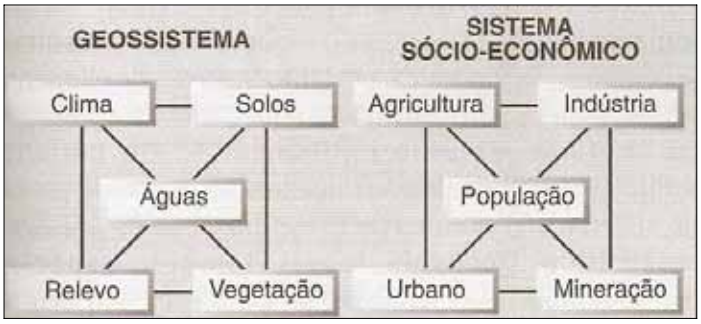


Figura 2 – Estruturação do geossistema e do sistema sócio-econômico. Fonte: Christofoletti (1999, p.41).

A influência dos agentes sócio-econômicos altera significantemente o clímax existente no interior do geossistema representado, segundo Bertrand (2004), pelo equilíbrio entre o potencial ecológico e a exploração biológica. Conforme discutido anteriormente, este desequilíbrio representa um amplo quadro de instabilidade morfodinâmica desencadeado pela erosão (Figura 3).

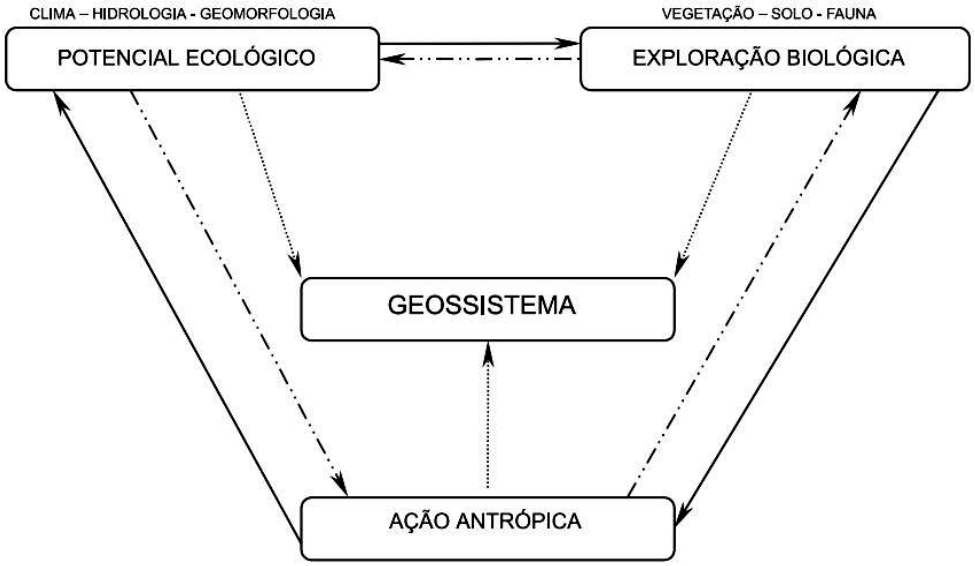


Figura 3 - Esboço de uma definição teórica de geossistema. Fonte: Bertrand (2004, p.146).

Um exemplo deste processo são as mudanças ocorridas no sistema hidrológico das vertentes, onde a infiltração (componente perpendicular) é substituída pelo escoamento superficial (componente paralelo), culminando na implantação de incisões erosivas lineares como sulcos, ravinas e voçorocas, e gerando o assoreamento dos cursos d'água (CASSETI, 1991).

Outro exemplo importante são as alterações exercidas sobre algum tipo de vegetação nativa, podendo contribuir para alterações no nível do lençol freático ou desencadear processos erosivos, transformando as condições ecológicas da paisagem (BERTRAND, 2004).

De acordo com Bertrand (2004), as estruturas da paisagem são fortemente formadas e alteradas pelo homem, tendo como principal forma de expressão espacial as formas específicas de uso da terra.

Para os referidos autores, do ponto de vista da análise da estrutura da paisagem, são mais graves aquelas mudanças que ocorrem na escala humana de medição, seguindo certa tendência a continuar nela. Essa tendência implica em taxas de mudança consideráveis.

O equilíbrio entre potencial ecológico e exploração biológica caracteriza um geossistema em estado de *biostasia*, enquanto que, a alteração sensível desse equilíbrio, cria condições de *resistasia*. Um fato relevante é que, enquanto a alteração do geossistema para o estado de resistasia acontece num intervalo de tempo rápido, a possibilidade de recuperação do mesmo apresenta-se bastante lenta (CASSETI, 1991).

Desse modo, os geossistemas se apresentam constantemente vulneráveis a fenômenos desestabilizadores, onde os eventos tendem a alterar significantemente a trajetória e evolução natural de seus agentes, conduzindo a uma mudança em seu funcionamento. Em relação à busca de alternativas de minimização e contenção dos efeitos decorrentes do processo de degradação da paisagem, o estudo da evolução dos geossistemas é de grande importância, uma vez que permite avaliar se as mudanças serão positivas ou negativas do ponto de vista do uso da terra (CORRÊA et al., 2011).

3.3 Erosão em ambiente semi-árido

A erosão em áreas semi-áridas possui claras peculiaridades do ponto de vista de sua origem e dinâmica natural. De acordo com Corrêa et al., (2011), os solos do nordeste semi-árido são bastante delgados em virtude do balanço denudacional que naturalmente favorece a morfogênese em detrimento da pedogênese.

Neste ambiente, a combinação entre fatores como a intensidade pluviométrica (concentração da chuva em um curto intervalo de tempo) e a cobertura vegetal decídua, potencializa o processo de instabilidade morfodinâmica, contribuindo substancialmente para a acumulação de sedimentos nas planícies fluviais e outras unidades geomorfológicas de acumulação. A erosão laminar é o principal tipo de erosão que ocorre em ambiente semi-árido, contribuindo com a maior parte da produção de sedimentos, sendo dificilmente percebida e medida. (SAMPAIO et al., 2003).

De acordo com Guerra (1999), o processo erosivo causado pelas chuvas tem abrangência em grande parte da superfície terrestre, sobretudo nas áreas intertropicais. No caso das regiões tropicais semi-áridas, as chuvas irregulares representam um fator natural de predisposição à erosão, consistindo num processo típico do próprio equilíbrio dos biomas semi-áridos (BERTRAND, 2004).

No entanto, atualmente, as taxas de erosão e sedimentação no semi-árido têm sido significantemente alteradas e, conseguintemente potencializadas por via das atividades agrícolas tradicionais, favorecendo a produção de sedimentos de granulometria grosseira depositados na calha fluvial (MENEZES et al., 2007).

As perdas por erosão em um mesmo tipo de solo variam em intensidade e de acordo com o seu uso. Em regiões bastante florestadas a perda é de 4 kg/há/ano, enquanto em áreas de pastagem e produção de algodão as perdas superam os 30.000 kg/há/ano. (LEPSCH, 2002).

De acordo com Corrêa e Azambuja (2005), o sobrecultivo em áreas semi-áridas do Nordeste brasileiro favorece a degradação da estrutura superficial da paisagem, à medida que o limite da área utilizada para o cultivo avança sobre as áreas áridas, tais como o lado sotavento dos maciços residuais, ou terrenos mais íngremes. Todavia estes impactos são maximizados a partir da introdução de tecnologias mal conduzidas, a exemplo da expansão pervagante da agricultura irrigada sem portar a adequada infra-estrutura de drenagem, conduzindo à salinização do solo, sobretudo dos solos aluviais.

Segundo os referidos autores, outro fator ainda diz respeito à expansão do número de cacimbas, que comumente aparecem logo após uma seca severa; o que leva ao aumento da salinização do solo ao longo dos terraços fluviais e, também nos leitos fluviais. Outra questão relacionada a este quadro diz respeito ao aumento artificial da capacidade de carga (animais/hectare) à medida que aumenta a quantidade de cacimbas e poços (CORRÊA e AZAMBUJA, 2005).

A escassez e irregularidade das precipitações, combinadas ao elevado gradiente térmico diário e às elevadas taxas de evapotranspiração produz um considerável aumento das quantidades de soluções do solo ricas em sais através do sistema capilar, podendo levar à salinização da superfície do solo ou em suas adjacências (CUNHA e GUERRA, 1996).

3.4 A bacia hidrográfica como unidade de planejamento ambiental

Uma das escalas mais adaptáveis para a análise da erosão dos solos é a bacia hidrográfica. Isto se justifica por meio das mudanças ocorrida nos perfis dos solos ao longo de uma encosta, revelando uma ampla relação entre a Geomorfologia e a Pedologia. Nesse sentido, as bacias hidrográficas ou bacias de drenagem podem ser consideradas sistemas abertos, ao passo que, a precipitação representa a entrada de energia no sistema, e a água carregada de sedimentos proveniente da erosão fluvial representa a dissipação de energia (GUERRA e MENDONÇA, 2007).

A abordagem relacionada com a análise integrativa, na escala local ou regional, representa exemplo de aplicabilidade da concepção holística, a qual a visão morfodinâmica encontra-se ligada. Essa concepção abrange a totalidade do sistema, servindo como exemplo o planejamento de bacias hidrográficas (SOTCHAVA, 1977).

A adoção da bacia hidrográfica como unidade de estudo para fins de planejamento é de aceitação universal, pois esta se constitui como um *"sistema natural bem delimitado no espaço, composto por um conjunto de terras topograficamente drenadas por um curso d'água e seus afluentes"*. Nesse contexto, as interações físicas são integradas e, porquanto melhor interpretadas. Nesta unidade territorial, denominada por Santos de "caixa preta", os

fenômenos e interações são melhores interpretados, a partir da entrada e saída de energia, revelando uma relação amplamente sistêmica (SANTOS, 2004, p. 40).

A bacia de drenagem pode ser desmembrada em um número qualquer de sub-bacias, dependendo do ponto de saída considerado ao longo do seu eixo-tronco ou canal coletor (NETTO, 2007) (Figura 4).

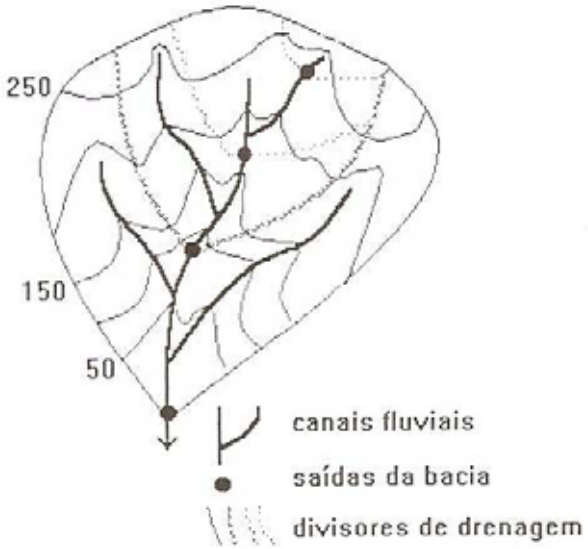


Figura 4 – Representação ilustrativa de uma bacia hidrográfica e sub-bacias delimitadas por pontos de saída. Fonte: Netto (2007, p. 99).

Várias definições de bacia hidrográfica foram formuladas até o presente. No entanto, os conceitos que envolvem suas subdivisões (sub-bacia e microbacia), apresentam abordagens diferenciadas, levando em consideração desde os fatores físicos até os de cunho ecológico (TEODORO et al., 2007).

Alguns autores expõem uma série de conceitos a respeito de sub-bacia. Um deles é Faustino (1996), que define as sub-bacias como unidades com limites medindo entre 100 km^2 a 700 km^2. Por outro lado, Rocha (1997) definiu-as como áreas entre 200 km^2 a 300 km^2 (Figura 5).

Autores	Conceito de Sub-bacia
SANTANA (2004)	As bacias podem ser desmembradas em um número qualquer de sub-bacias, dependendo do ponto de saída considerado ao longo do seu eixo-tronco ou canal coletor. Cada bacia hidrográfica interliga-se com outra de ordem hierárquica superior, constituindo, em relação à última, uma sub-bacia. Portanto, os termos bacia e sub-bacias hidrográficas são relativos.
ATTANASIO (2004)	Unidade física caracterizada como uma área de terra drenada por um determinado curso d'água e limitada, perifericamente, pelo chamado divisor de águas.
ROCHA *apud* MARTINS *et al* (2005)	Sub – bacias são áreas entre 20.000 ha e 30.000 ha (200 km² e 300 km²).
FAUSTINO (1996)	A microbacia possui toda sua área com drenagem direta ao curso principal de uma sub-bacia, várias microbacias formam uma sub-bacia, sendo a área de uma microbacia inferior a 100 km².
BRASIL, 1986 *apud* HEIN, 2000	As microbacias são áreas fisiográficas drenadas por um curso d'água ou para um sistema de cursos d'água conectados e que convergem, direta ou indiretamente, para um leito ou para um espelho d'água, constituindo uma unidade ideal para o planejamento integrado do manejo dos recursos naturais do meio ambiente por ele definido.
MOLDAN & CERNY, 1994 *apud* MACHADO, 2002	As microbacias são as menores unidades da paisagem capaz de integrar todos os componentes relacionados com a disponibilidade e qualidade de água como: atmosfera, vegetação natural, plantas cultivadas, solo, rochas subjacentes, corpos d'água e paisagem circundante.
LANNA, 1995 *apud* BRAGA, 2003	Microbacia hidrográfica é entendida como uma "área geograficamente delimitada pelos divisores de água que alimentam pequenos tributários".
MOSCA (2003)	Considera a microbacia como a menor unidade do ecossistema onde pode ser observada a delicada relação de interdependência entre os fatores bióticos e abióticos, sendo que perturbações podem comprometer a dinâmica de seu funcionamento, sendo assim, esse conceito visa à identificação e o monitoramento de forma orientada dos impactos ambientais.
LEONARDO (2003)	A microbacia hidrográfica é um elemento de escala de análise ambiental muito singular, pois representa o elo entre a escala micro, correspondente àquele nível de análise, verificação, medição, monitoramento e intervenção *in loco* e a macroescala de análise, que corresponde à paisagem, região, bacia hidrográfica, nação ou até mesmo uma escala global, de onde são emanadas as normas, a legislação e as políticas públicas. Dessa forma a mesoescala de análise da sustentabilidade é a própria escala espacial da microbacia hidrográfica.

Figura 5 – Diferentes conceitos encontrados na literatura a respeito de sub-bacia. Fonte: Teodoro et al., (2007).

Em relação ao termo microbacia, Faustino (1996) a define como uma área com drenagem direta ao curso principal de uma sub-bacia, possuindo tamanho inferior a 100 km^2.

Cecílio e Reis (2006) definem-na como uma sub-bacia hidrográfica de área reduzida, e afirmam não haver consenso de qual seja a área máxima; sugerindo os valores de 0,1 km^2 a 200 km^2.

Sobre as microbacias, Botelho (1999) apresenta o conceito difundido pelo PNMH, através do Decreto-Lei n^o 94.076, de 05 de março de 1987, que não se difere em nada do

conceito de bacia hidrográfica. Por isso, a autora expõe o conceito de Bertoni e Lombardi Neto (1993), que a define como uma unidade espacial mínima, determinada a partir da classificação de uma bacia hidrográfica em seus diferentes níveis hierárquicos, subdividindo-a até a menor área possível. Entretanto, este conceito não tem sido muito utilizado e difundido na atualidade (Figura 6).

Autores	Conceito de Microbacia
ATTANASIO (2004)	A microbacia é a unidade básica de planejamento para compatibilização da preservação dos recursos naturais e da produção agropecuária. As microbacias hidrográficas possuem características ecológicas, geomorfológicas e sociais integradoras, o que possibilita a abordagem holística e participativa, envolvendo estudos interdisciplinares para o estabelecimento de formas de desenvolvimento sustentável inerentes ao local e região onde forem implementados.
SANTANA (2004)	O termo microbacia, embora difundido em nível nacional, constitui uma denominação empírica, sugerindo o autor a sua substituição por sub-bacia hidrográfica.
CALIJURI & BUBEL (2006)	Microbacias são áreas formadas por canais de 1ª e 2ª ordem e, em alguns casos, de 3ª ordem, devendo ser definida como base na dinâmica dos processos hidrológicos, geomorfológicos e biológicos. As microbacias são áreas frágeis e freqüentemente ameaçadas por perturbações, nas quais as escalas espacial, temporal e observacional são fundamentais.

Figura 6 – Diferentes conceitos encontrados na literatura a respeito de sub-bacia. Fonte: Teodoro et al., (2007).

Um fato relevante é que a microbacia deve abranger uma área suficientemente satisfatória para viabilizar a identificação das inter-relações entre os seus diversos elementos, sejam eles do quadro social ou ambiental. Por outro lado, deve ser pequena suficiente para viabilizar o desenvolvimento de pesquisas, respondendo positivamente à relação custo/benefício (BOTELHO, 1999).

A bacia hidrográfica enquanto unidade hidrogeomorfológica foi apresentada por Chorley (1962), o mesmo a designou como um exemplo clássico de sistema aberto, isto, pois, a mesma recebe impulsos energéticos dos agentes externos e internos e também perde energia por meio da água, dos sedimentos e dos solúveis (NETTO, 2007).

A organização da bacia hidrográfica enquanto sistema, isto é, o ordenamento dos elementos da forma e processos associados, influência conspicuamente as relações de entrada e saída de matéria e energia em seu interior. Deste modo, mudanças externas no fornecimento da energia e massa acarretam no auto-ajuste das formas e dos processos. Este princípio,

chamado de auto-ajuste, foi discutido no trabalho clássico de Gilbert (1877) conforme ressalta Chorley (1962).

As bacias hidrográficas têm uma função essencial na evolução do relevo, uma vez que as drenagens constituem-se como importantes agentes modeladores da paisagem. Todavia, nos últimos anos, o homem tem se constituído como agente acelerador dos processos de degradação da paisagem, atuando e modificando o relevo terrestre (CUNHA e GUERRA, 1996).

Diante desta problemática, os estudos que se ocupam com a análise ambiental em bacias hidrográficas têm se tornado cada vez mais viáveis, tendo em vista a urgência no controle das alterações e dos danos sofridos pela paisagem.

3.5 Sistemas de Informação Geográfica para análise ambiental

O mapeamento de detalhe das unidades geomorfológicas e a tomada de conhecimento acerca dos processos morfodinâmicos ocorridos nestas unidades, são de fundamental importância para a compreensão do funcionamento e causas principais do processo erosivo em uma determinada área. Desse modo, o mapeamento das áreas de risco morfogenéticos é um instrumento bastante eficaz para avaliar o uso agrícola e outras formas de uso do solo (CHRISTOFOLETTI, 2007).

Atualmente, as novas ferramentas de análise geoespacial através da modelagem em SIG têm se constituído como importantes instrumentos de apoio ao desenvolvimento da Geomorfologia enquanto ciência da Terra.

A partir da década de 1980, a utilização de ferramentas computacionais para a análise e modelagem espacial passou a ser uma tendência seguida por inúmeros pesquisadores no Brasil e no mundo. Antes disso, nos Estados Unidos e na Inglaterra imprimiam-se as primeiras tentativas de produção de softwares aplicados a esta análise (CAMARA 2005).

Os primeiros Sistemas de Informação Geográfica tiveram sua gênese na década de 1960 no Canadá, como parte de um programa do governo que teve como intuito central a

criação de um inventário de Recursos Naturais. Alguns anos depois, na década de 1980 o Geoprocessamento e o Sensoriamento Remoto iniciaram um período de ascensão até os dias atuais (CÂMARA 2005).

A partir de então, a coleta e obtenção de imagens da órbita da Terra contendo alto grau de detalhe e precisão tem se difundido bastante. Um exemplo a ser citado são as imagens obtidas através do SRTM, criado com o objetivo de obter informações altimétricas da superfície terrestre gerando uma base para estudos espaciais diversos, tendo excelente utilidade para a Geomorfologia, sobretudo na confecção de mapas geomorfológicos. A este respeito destacam-se os estudos de SILVA e SANTOS (2005); LOBÃO e VALE (2006); FERREIRA (2010) e GASTÃO e MAIA (2010).

No âmbito da ciência geográfica a Geomorfologia é o campo que mais tem conquistado benefícios a partir do Sensoriamento Remoto. Isto ocorre, pois, sem o mesmo, torna-se muito difícil identificar e visualizar os mais variados tipos de feições e processos geomorfológicos (NOVO, 1988).

O SRTM foi lançado em fevereiro de 2000 a bordo do ônibus espacial Endeavour. Durante 11 dias obteve dados de altimetria estereoscópica de 80% da superfície terrestre, gerando imagens com resolução espacial (nos dados fontes) de um arco segundo para os Estados Unidos e três arcos segundo para o restante do mundo e com uma amplitude de grade 30 metros para o (SRTM 1) e 90 metros para o (SRTM 3), projetados para uma acuaria vertical e horizontal absoluta de 16 e 20 metros, respectivamente, com 90% de confiança (MEDEIROS et al., 2009).

Os resultados das pesquisas valendo-se de informações de radares interferométricos mostram-se bastante satisfatórios, sobretudo quando relacionados ao mapeamento de feições geomorfológicas, pois permite reconhecer e estrutura dos modelados e identificar os principais processos denudacionais e agradacionais que operam no interior de uma bacia hidrográfica, além de revelar-se como um importante instrumento de apoio na execução do planejamento e gestão ambiental (COELHO, 2008).

O uso de dados geoespaciais, a exemplo do SRTM, amplamente discutido neste tópico, permite a criação de uma série de produtos resultantes de procedimentos elaborados em ambiente SIG. A partir do mapa geomorfológico e outros produtos gerados com o uso do Geoprocessamento é possível representar espacialmente os processos morfodinâmicos de uma determinada área, conforme ressalta anteriormente Novo (1988), quando coloca que através do Sensoriamento Remoto é possível identificar não somente formas, mas também processos.

Nesse sentido, Castro (1999) valeu-se de diferentes planos de informação a partir da elaboração de mapas temáticos, a saber: geologia, geomorfologia, declividade, hipsometria, pluviometria e cobertura vegetal e uso do solo, para geração de um mapa morfodinâmico da Bacia do Rio Mogi. Para alcançar este resultado, o mesmo utilizou-se dos princípios da álgebra booleana entre mapas, aplicando esta lógica em ambiente SIG.

Seguindo uma linha semelhante, Souza (2002), tomou como base o princípio da ecodinâmica de Tricart (1977) para desenvolver a análise ambiental integrada da microbacia do Ribeirão da Mutuca-MG através de técnicas de geoprocessamento. Deste modo foram adotadas as mesmas regras de correlação utilizadas por Castro (1999), caracterizando cartograficamente os diferentes tipos de impactos gerados nesta área com ênfase no uso e ocupação do solo.

Também, com base no princípio da ecodinâmica, Brandão (2005) gerou um Índice de Degradação Ambiental para a bacia hidrográfica do Rio do Peixe – PB, analisando a paisagem de uma forma dinâmica, levando em consideração os seguintes elementos: vegetação, solos, declividade e densidade demográfica. Como resultado estabeleceu quatro níveis de instabilidade ambiental para a bacia, são eles: qualidade ambiental alta, moderada, subcrítica e crítica.

Outro estudo baseado nos princípios da morfodinâmica de Tricart foi elaborado por Leme (2007). Este autor buscou mostrar que as formas de relevo traduzem a dependência genética de todo o conjunto de estruturas que se articulam no geossistema paisagístico. A elaboração da carta morfodinâmica decorreu da intenção de avaliar a participação relativa do relevo na dinâmica dos processos, no intuito de identificar os graus de fragilidade ambiental.

Oliveira e Chaves (2009) utilizaram o Índice Morfométrico de Dissecação do Relevo para o estabelecimento e delimitação das áreas de fragilidade ambiental em um setor da Ecorregião Raso da Catarina na porção nordeste do Estado da Bahia, valendo-se de técnicas de geoprocessamento por meio da álgebra simples de mapas – sobreposição ponderada.

Um ponto comum em ambos os trabalhos, e o que de fato interessa a esta pesquisa, foi à utilização de um SIG para a confecção do mapa morfodinâmico, haja vista, não haver regras deste tipo estabelecidas no trabalho de Tricart (1977). Deste modo, ressalta-se que estes trabalhos são louváveis em matéria de cunho metodológico.

Vale ressaltar que, para este mapeamento, será adotada a tipologia de Tricart (1977), que considera os seguintes meios: estáveis, intermediários e instáveis, que serão expressos no mapa morfodinâmico da bacia do alto Taperoá-PB.

4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

4.1 Localização

A área de estudo encontra-se localizada entre os limites das Mesorregiões da Borborema e Sertão e Microrregiões do Cariri Ocidental e Serra de Teixeira, entre as coordenadas planas (UTM) 699000 e 735000 de longitude; e 9180000 e 9210000 de latitude, abrangendo os municípios de Teixeira, Cacimbas, Desterro, Livramento e Taperoá. Sua área total corresponde a cerca de 552 km^2 (Figura 7).

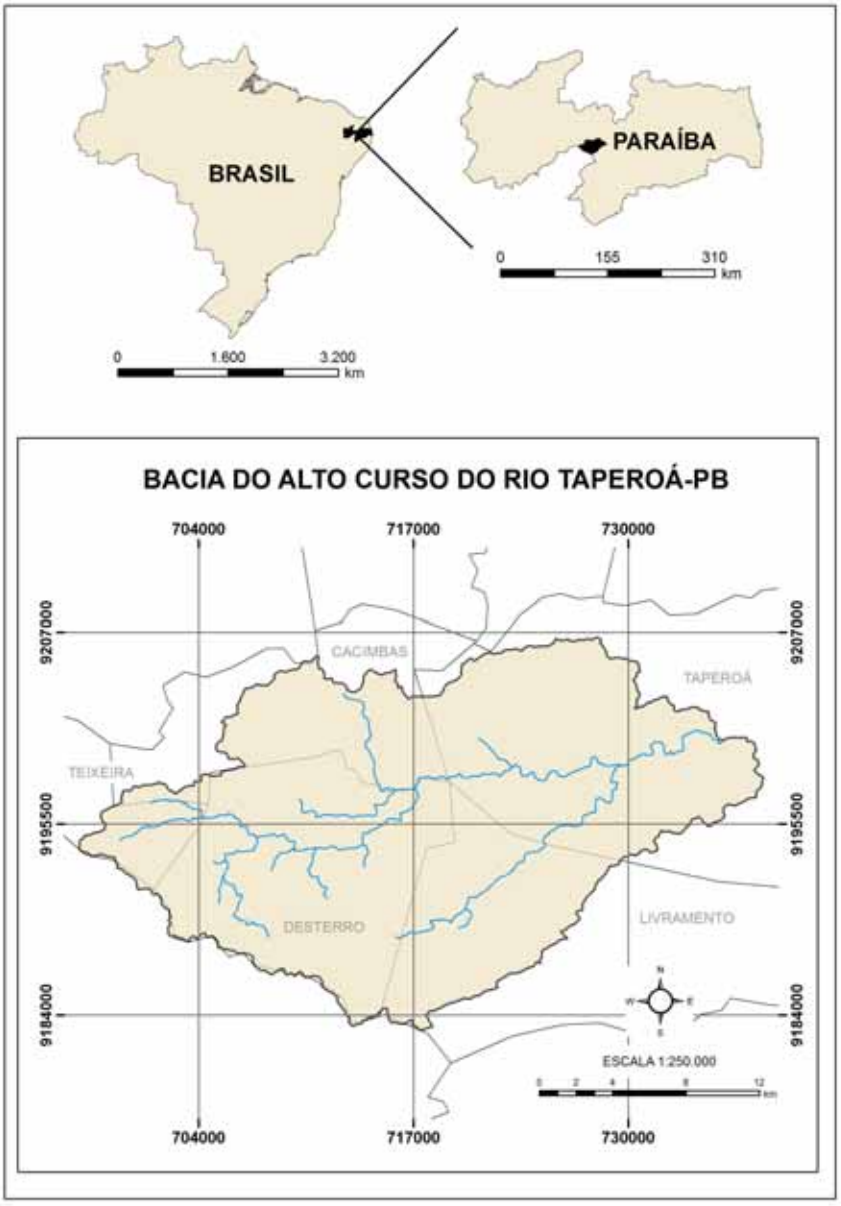


Figura 7 – Mapa de localização da bacia do alto curso do rio Taperoá-PB.

A área de estudo encontra-se inserida na bacia hidrográfica do rio Paraíba, na porção que compreende a bacia do alto curso do rio Taperoá, no Estado da Paraíba. Seu principal rio é o Taperoá, que nasce na serra de Teixeira e se estende no sentido NO-SE, desembocando no rio Paraíba, que por sua vez deságua no Oceano Atlântico, onde forma importante estuário (PARAÍBA, 2007).

Na área de estudo destacam-se algumas drenagens importantes além do rio Taperoá, uma delas é o riacho Desterro que cruza toda a bacia no sentido leste-oeste, formando confluência com rio Taperoá à jusante.

Esta região é caracterizada por um relevo bastante protuberante no setor norte, formando escarpas consideravelmente íngremes, sendo importantes divisores de água, separando-a da sub-bacia do rio Piranhas no sertão paraibano.

Na saída do município de Taperoá, o rio com mesmo nome é represado formando o açude Taperoá II, que tem a função de abastecer esta cidade (Figura 8).

Figura 8 – Barragem Manoel Marcionilo, saída do município de Taperoá-PB. Foto: o autor.

4.2 Geologia

A bacia do rio Taperoá encontra-se assentada sobre as rochas cristalinas de origem pré-cambriana do Planalto da Borborema. Esta unidade é definida como um extenso cinturão orogênico meso/neoproterozóico que se estende por grande parte do Nordeste Brasileiro. Nessa região ocorre um extenso complexo gnáissico-migmatítico com manchas de rochas granitóides e grabóides, compostas por micaxistos com sillimanita e granada (ALMEIDA, 1977).

De acordo com Corrêa (2001), no cinturão orogênico da Borborema as vastas extensões onde ocorrem rochas metamórficas associam-se às faixas móveis pré-cambrianas, que estão relacionadas a um intenso processo de metamorfismo regional, a Orogênese Brasiliana (590-492 Ma).

As rochas presentes nesta área apresentam estruturas planares, caracterizadas pela textura xistosa e bandada em virtude dos esforços a qual foram submetidas. Um fato importante é que o grau de inclinação dos planos de xistosidade nessas estruturas exerce forte controle sobre a morfogênese regional (CORRÊA, 2001).

Na área de estudo distinguem-se duas grandes suítes descritas abaixo, compostas, no geral, por cinco unidades mapeadas pelo CPRM em BRASIL (2002), além de uma pequena área que contem cobertura elúvio-coluvial.

4.2.1 Suíte Granítica Cariris Velhos (Mesoproterozóico)

Os terrenos denominados de Cariris Velhos, (1,1Ga–0,95Ga), e Brasilianos, (0,65Ga–0,57Ga), chegaram ao seu auge em dois eventos orogênicos sucessivos, dando origem a um complexo e extenso cinturão de dobras e falhas (*fold-thrust-belt*), e às redes de zonas de cisalhamento transcorrentes, associadas a um insigne plutonismo granítico (BRASIL, 2002).

A Suíte Granítica Cariris Velhos compõe um conjunto de unidades geológicas limitadas por zonas de cisalhamento nucleadas no Brasiliano ou geradas através do retrabalhamento de zonas de cisalhamento contracionais (BRASIL, 2002).

Nessas áreas o grau de compressão alcançado foi extremo, expressando-se através de diques graníticos achatados e de dobras com flancos rompidos. O processo metamórfico de anatexia, nessas áreas, sugerem pressões de 5 a 6 kbar e temperaturas em torno de 700º C para este fenômeno contracional (SANTOS, 1996) (Figura 9).

Figura 9 – Metagranitóide exibindo dobras do evento Cariris Velhos. Foto: BRASIL (2002).

Uma das unidades que abrange esta suíte é o Complexo São Caetano, que se estende por grande parte da área de estudo. Esta unidade é definida como uma seqüência metassedimentar e metavulcanoclástica, com uma componente vulcânica dominante félsica-intermediária. Sua origem remota de aproximadamente 143 Ma (BRASIL, 2002).

Outra importante unidade é denominada de Metagranitóide do tipo recanto, ligada ao grupo dos Metagranitóides Cariris Velhos, cuja subdivisão abrange os Metagranitóides tipo Recanto e Riacho do Forno. São rochas graníticas, leucograníticas e migmatíticas de origem crustal, formadas durante a orogênese Cariris Velhos, a partir da fusão parcial do protólito sedimentar ou vulcano-sedimentar (BRASIL, 2002).

4.2.2 Super Suítes (Neoproterozóico)

Foram originadas a partir do plutonismo brasiliano. Sua mineralogia é basicamente formada por leucogranodioritos, quartzo monzonitos e granodioritos (SANTOS e MEDEIROS, 1999).

Na Suíte Granítica Calciacalina ocorrem granitóides porfiríticos de natureza monzonítica, sienogranítica e granodiorítica e rochas graníticas com megacristais de feldspato potássico associados à dioritos (BRASIL, 2002).

Em algumas parcelas destas suítes ocorrem Granitos Indiscriminados, pois são rochas intrusivas conhecidas apenas por meio de suas características petrográficas, referidas genericamente como granitos ou granitóides, pelo fato de ainda não se dispor de dados litoquímicos suficientes para enquadrá-las perfeitamente em um determinado grupo (BRASIL, 2002).

4.2.3 Coberturas elúvio-coluviais

Faz parte de um conjunto de coberturas recentes na escala do tempo geológico que compreendem o período quaternário (2,5 Ma), formadas a partir da deposição de detritos resultantes da desintegração da rocha mãe ou de material transportado para outras localidades através do efeito da gravidade, pela ação fluvial ou eólica (GUERRA, 2007).

Compõe-se por sedimentos clásticos com granulometria de fina a grosseira, areias inconsolidadas de coloração branca, grãos de quartzo e feldspato sub-angulosos, tipos de mica e concreções de minerais pesados. Sobre as areias existem níveis mais heterogêneos e consolidados, de coloração amarelo-avermelhada, com intercalações de argila e horizontes conglomeráticos (BRASIL, 2002) (Figura 10).

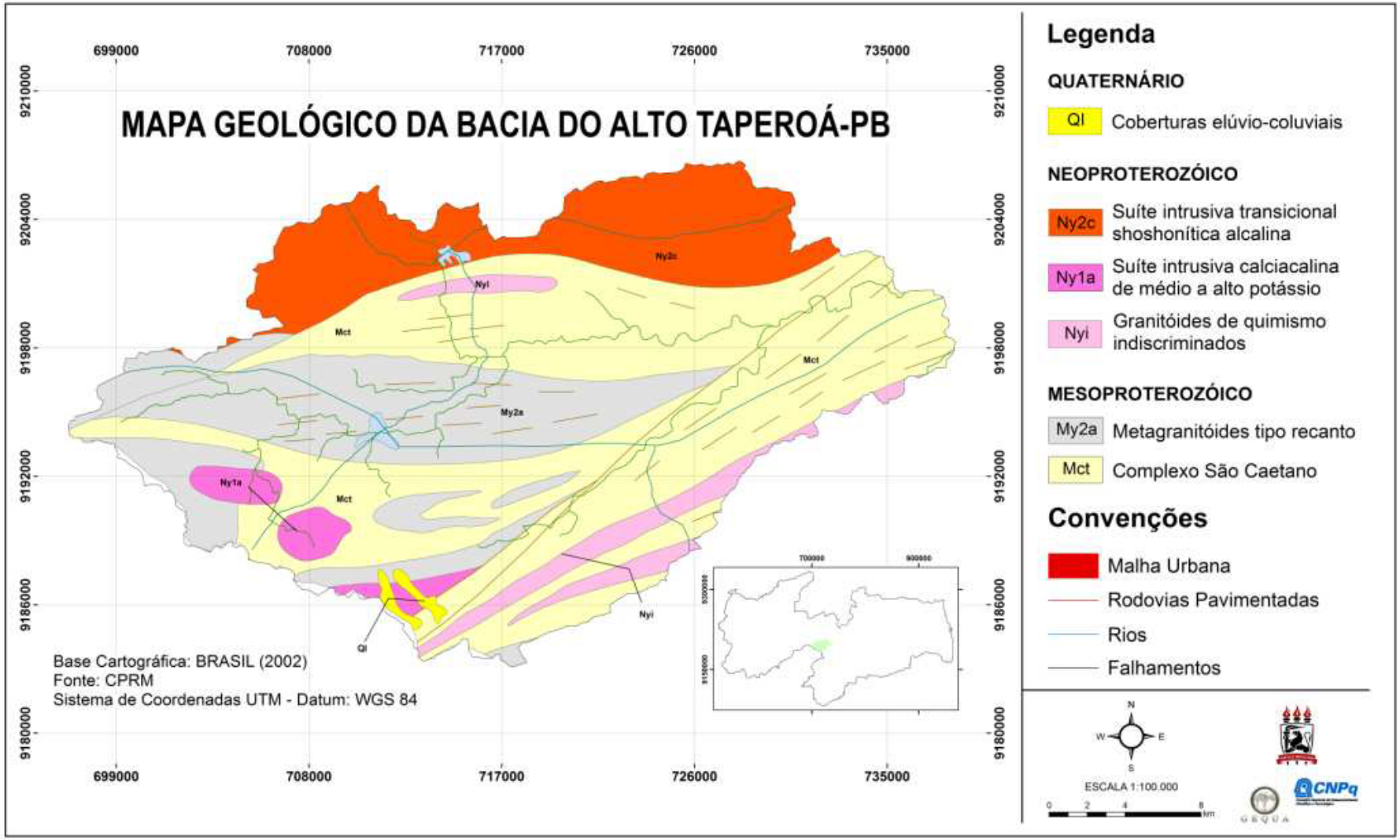


Figura 10 – Mapa das unidades geológicas da bacia do alto Taperoá-PB. Fonte: Modificado de BRASIL (2002).

4.3 Geomorfologia

Segundo a classificação de Carvalho (1982), a geomorfologia do Estado da Paraíba é compartimentada em dois grandes grupos: *Setor Oriental Úmido e Sub-úmido* e *Setor Ocidental Sub-úmido e Semi-Árido*. Esta divisão leva eminentemente em consideração as características climáticas destas áreas, que se refletem em suas especificidades físico-naturais.

Os dois setores têm como linha divisória a Frente Oriental do Planalto da Borborema (CARVALHO, 1982) (Figura 11).

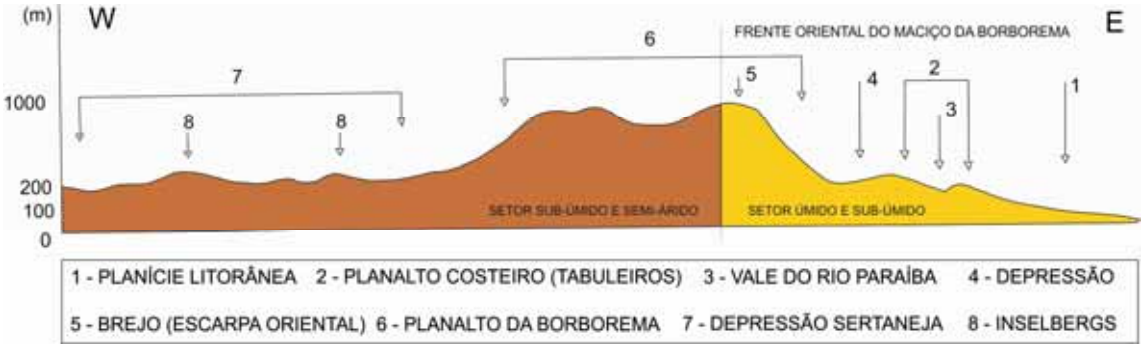


Figura 11 – Perfil topográfico ilustrativo do Estado da Paraíba. Fonte: Modificado de Rodrigues (S/DATA). Organização: Saulo Vital.

O *Setor Oriental Úmido e Sub-úmido* compreende toda região a leste da linha divisória, englobando o brejo de altitude; a depressão sub-litorânea e as áreas úmidas costeiras.

O *Setor Ocidental Sub-úmido e Semi-Árido*, compreende toda região a oeste da linha divisória, abrangendo as áreas mais secas do Estado da Paraíba: Cariri, Curimataú, Seridó e Sertão, onde se encontra inserida a área de estudo, a qual se detalhará com mais precisão.

O Planalto da Borborema é definido com um conjunto estrutural de maciços ou blocos falhados e dobrados em rochas do embasamento cristalino, se estendendo do Estado de Alagoas até o Estado do Rio Grande do Norte e apresentando níveis altimétricos entre 600-800 metros, chegando a extrapolar estes níveis em algumas localidades. Ao longo desta unidade ocorrem vales profundos entalhando feições colinosas, cristas paralelas, morros, patamares escalonados para leste e superfícies pediplanadas para oeste; contrafortes orientais sob condições de climas úmidos e encostas ocidentais semi-áridas (SOUZA et al., 1992).

O traçado geral dos vales do Maciço da Borborema reflete a forte interferência das direções das linhas de fratura. No Estado da Paraíba, este maciço apresenta-se bastante fragmentado, expressando-se na paisagem sob a forma de escarpas, amplas superfícies elevadas aplainadas e por maciços residuais (CARVALHO, 1982).

O Planalto da Borborema estende-se até os limites com o Pediplano Sertanejo por meio de encostas muito erodidas, delineadas por uma linha de escarpa bastante tortuosa e profundamente entalhada pela drenagem, apresentando vales embutidos entre cristas de quartzitos e paredões de granito-gnaisse. No interior do Planalto da Borborema, podem ser distinguidas duas superfícies geomorfológicas individualizadas por suas altitudes, são elas: “Superfície da Borborema”, que corresponde o nível mais elevado, entre 600 metros e 700 metros; e a “Superfície dos Cariris”, compreendendo o nível mais baixo, entre 400 metros e 500 metros, ambos representando dois níveis de aplainamento (CARVALHO, 1982).

Estes dois níveis são separados pelo Lineamento Patos, marcado por longas fraturas e interferindo nas direções estruturais em ambas as superfícies.

No Cenozóico, as rochas do Planalto da Borborema foram submetidas a um forte processo de laminagem, resultando em um arranjo de blocos movimentados tectonicamente e fortemente basculados. A ação dos agentes morfoesculturais realçou as diferenças de direção e de altitude da foliação e do bandeamento das rochas. No caso das rochas com maior resistência litológica, este processo resultou na formação de cristas, pontões, inselbergs e numa série de outros tipos de relevos aguçados. Por outro lado, nas litologias mais suscetíveis ao intemperismo, ocorreram relevos menos salientes e depressões (CORRÊA, 2001).

As superfícies Cariris Velhos e Teixeira, níveis de aplainamento referidos as cotas de 650 e acima de 800 metros, respectivamente, citadas por Carvalho (1982) são observadas na área a partir da hierarquização de duas morfoesculturas separadas por níveis de encostas e englobando cotas altimétricas com desníveis que chegam a mais de 300 metros.

Ressalta-se que ambas as superfícies integram a unidade morfoestrutural Planalto da Borborema, tendo o seu desenvolvimento ocorrido a partir de controles tectônicos erosivos e litológicos ao longo de todo o Cenozóico.

A recomposição histórica e dinâmica desta evolução regional, no entanto, foge ao escopo deste trabalho.

4.4 Solos

Para a identificação das classes de solos foi tomado como base o ZANE da EMBRAPA. É importante ressaltar, que devido a escala das informações (1:500.000) não foi possível gerar um mapa com maior nível de detalhe. Desse modo, os principais tipos de solos encontrados na área foram: Luvissolos, Neossolos regolíticos, Neossolos litólicos e Neossolos flúvicos, sendo este último acrescentado a partir do polígono de abrangência do plaino aluvial, identificado no mapa geomorfológico, o que representa evidentemente solos flúvicos.

4.4.1 Luvissolos

De acordo com Camargo (1987), os Luvissolos pertencem a uma classe de solos minerais, não hidromórficos, apresentando horizonte A incipiente e horizonte B com tonalidade avermelhada ou amarelada, possuindo um caráter eutrófico, onde a alta saturação por bases no horizonte B favorece ao enraizamento em profundidade.

Este tipo de solo geralmente ocorre em relevo suave ondulado, e se apresenta bastante raso, pois os horizontes A e B raramente ultrapassam 1metro de profundidade. Além disso, apresenta uma mudança textural bastante abrupta, proporcionando-o um caráter de forte propensão a erodibilidade. Nas regiões semi-áridas estes solos apresentam significativa limitação quanto à disponibilidade de água. Também são bastantes sujeitos à compactação, o que pode favorecer a erosão linear atrelada ao uso impróprio para agricultura.

De acordo com Albuquerque et al., (2002), as perdas anuais de solo do tipo Luvissolos em áreas desmatadas do semi-árido chegam a alcançar 58,5 $t/há^{-1}$. Isto ocorre, pois a susceptibilidade à erosão hídrica é uma de suas características; potencializada pela morfologia do terreno, intensidade pluviométrica, cobertura vegetal decídua e técnicas agrícolas tradicionais.

A agricultura intensiva, por meio de técnicas inadequadas de manejo do solo, principalmente nas zonas de maior declividade, em períodos de forte intensidade pluviométrica provoca a deterioração das propriedades físicas, químicas e biológicas deste solo (MARTINS et al., 2001).

4.4.2 Neossolos regolíticos

Estes solos contêm uma profundidade maior que 50 cm, com horizonte A sobrejacente ao horizonte C, podendo conter horizonte Bi, em geral, com menos de 10 cm de espessura. Apresentam 4% ou mais de minerais primários, sendo estes, bastante resistentes ao intemperismo na fração areia total e/ou no cascalho; apresentam 5% ou mais do volume da massa do horizonte C, dentro de 150 cm de profundidade, apresentando fragmentos da rocha mãe, geralmente, preservando a orientação dos minerais (pseudomorfos) (BRASIL, 1999).

Na Paraíba ocorre uma grande variedade de Neossolos. Uma de suas características marcantes diz respeito às fortes limitações ao uso agrícola em virtude da deficiência hídrica favorecida por sua pedregosidade e espessura delgada, sendo aproveitados para atividades como a pecuária extensiva em condições precárias e cultivo de algumas culturas adaptáveis a estas condições rigorosas como o agave. Além disso, também é cultivado o algodão arbóreo, em consórcio com milho e feijão (CAVALCANTE, 2005).

Os Neossolos são muito susceptíveis à erosão, principalmente quando contêm um alto teor de areia (Neossolos quartzarênicos). Em virtude da intensa exploração agrícola e da textura arenosa em alguns tipos, encontram-se sujeitos a intensa lixiviação, observado em alguns sinais de deficiência, principalmente de nitrogênio, bem como verifica-se baixa produtividade. Os Neossolos de textura arenosa são mais susceptíveis a erosão, em especial quando ocorrem em terreno com declividade alta ou muito alta (PASSOS, 2010).

4.4.3 Neossolos litólicos

Estes solos contêm um alto teor de matéria orgânica presente no horizonte A, assentados diretamente sobre a rocha mãe ou sobre o horizonte C. Sua massa é constituída por fragmentos de rocha com diâmetro maior que 2 mm caracterizando cascalhos, calhaus e/ou

matacões e que apresentam um contato lítico ou fragmentário dentro de 50 cm da superfície do solo. Geralmente, o horizonte B encontra-se em início de formação, cuja espessura não satisfaz os parâmetros de um horizonte B diagnóstico (BRASIL, 1999).

Regra geral, os Neossolos litólicos são poucos evoluídos, rasos, alcançando no máximo 50 cm até o contato com a rocha mãe; contêm textura e fertilidade variáveis, com características bastante ligadas ao material de origem e ao clima. Uma característica interessante sua, diz respeito à sua capacidade de favorecer a erosão, devido sua baixa capacidade de absorção; isto ocorre, pois sua espessura delgada favorece a interrupção precoce do fluxo d'água em seu interior, facilitando o escoamento em superfície, e em sub-superfície, na zona de contato solo-rocha. Tal situação pode gerar processos erosivos capazes de criar deslizamentos, se agravando nas encostas mais íngremes e desprovidas de vegetação (PASSOS et al., 2010).

De acordo com Oliveira et al., (2008), tanto os Luvissolos quanto os Neossolos apresentam baixa tolerância a erosão, com valores entre 5,41 e 6,30 t há-1 ano-1. De acordo com os autores, esta característica pode ser explicada pela baixa profundidade efetiva, resultando em uma baixa infiltração e aumentando os riscos de erosão. Nos Neossolos quartzarênicos, a pouca resistência à erosão hídrica é fruto do alto teor de areia e baixo teor de argila e matéria orgânica, resultando em fraca agregação. Este comportamento ocorre também nos Neossolos regolíticos (Tabela 1).

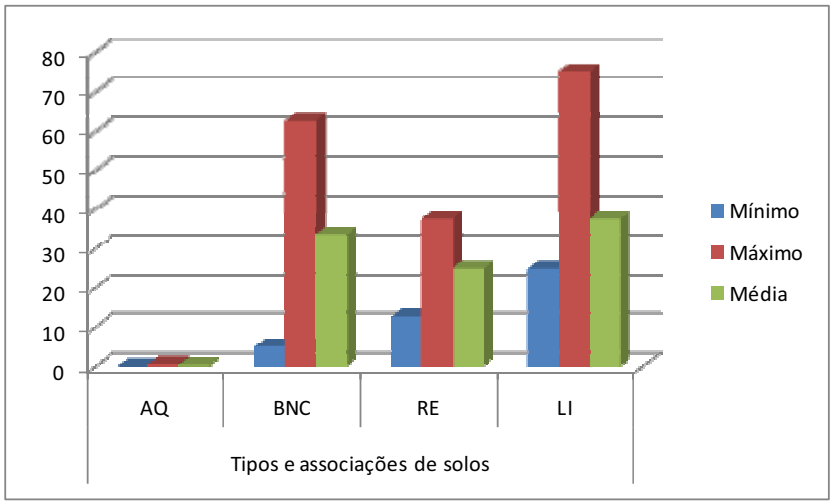
Tabela 1 – Erosão em solos do trópico semi-árido.

(Parcelas padrão de 22,1 metros de comprimento, declive de 9%, mantidas aradas no sentido do declive)				
Erosão (t/há/ano)	Tipos e associações de solos			
	AQ	BNC	RE	LI
Mínimo	0,01	5	12,5	25
Máximo	0,5	62,5	37,5	75
Média	0,25	33,5	25	37,5

AQ = Areias quartzosas (Neossolos flúvicos)
BNC = Bruno não cálcicos (Luvissolos)
RE = Regossolos (Neossolo regolítico)
LI = Litólicos (Neossolo litólico)

Fonte: Brasil (S/DATA).

Gráfico 1 – Relação da média erosiva entre os solos presentes na área de estudo.



Fonte: Brasil (S/DATA).

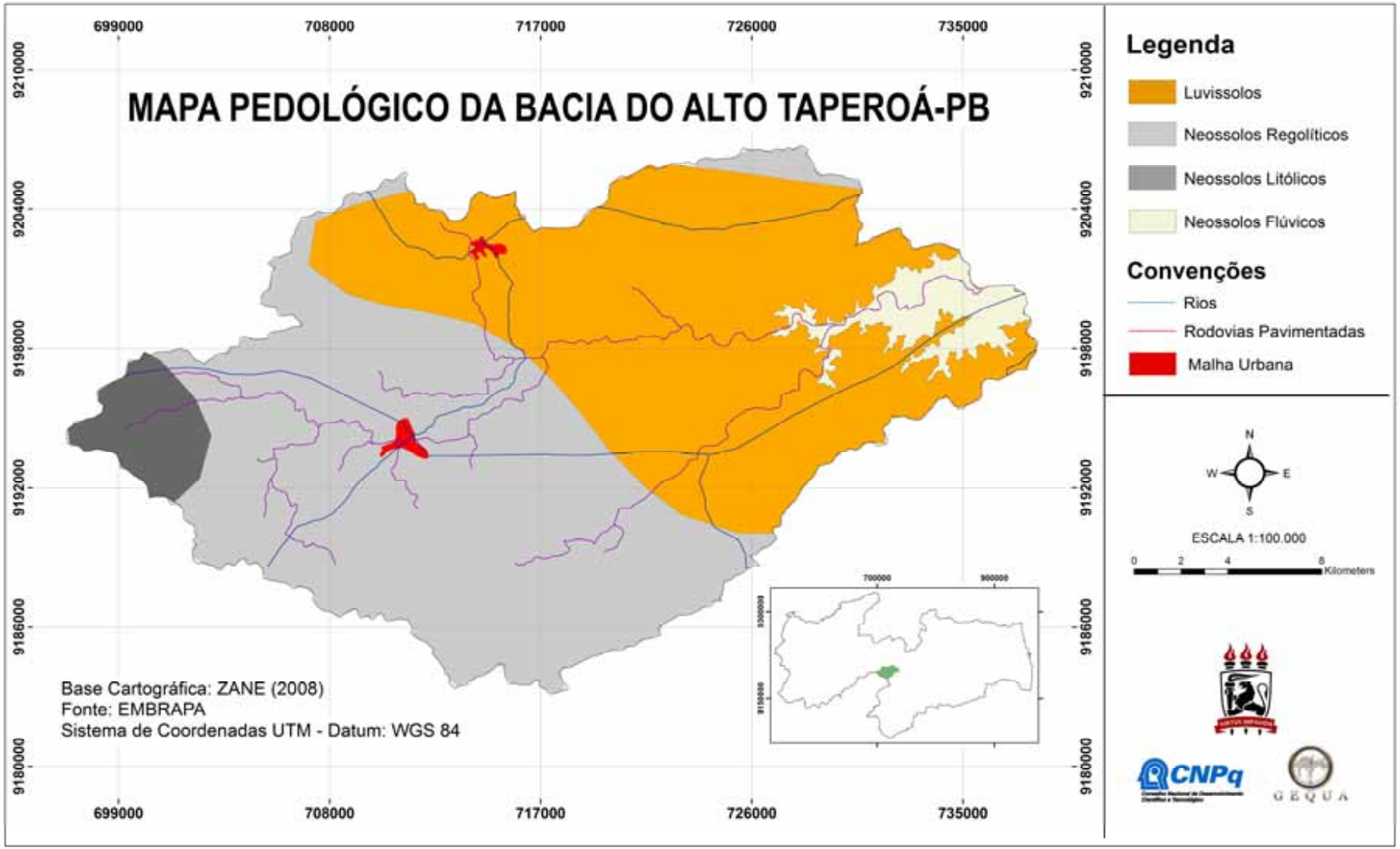


Figura 12 – Mapa pedológico da bacia do alto curso do rio Taperoá-PB. Fonte: modificado do BRASIL (2007).

4.5 Clima

O clima da sub-bacia do rio Taperoá é do tipo semi-árido, com médias pluviométricas inferiores a 800 mm anuais e temperaturas médias mensais superiores a 18 ºC. A maior concentração da pluviosidade total, cerca de 65% desta, ocorre entre os meses de janeiro a abril (SOBRINHO et al., 2010).

Nas regiões mais elevadas da bacia, que compreende os municípios de Cacimbas e Teixeira, as condições climáticas rigorosas são amenizadas por um clima de altitude, diferentemente dos demais municípios que fazem parte do Cariri paraibano a exemplo de Desterro, que chega a alcançar médias pluviométricas anuais inferiores a 300 mm, em anos bastante secos.

A média da precipitação anual no Estado da Paraíba diminui consideravelmente do litoral até a zona central do Estado, voltando a crescer da zona central até o extremo oeste, porém, timidamente. Este quadro geral é uma conseqüência da atuação dos sistemas de circulação secundária que penetram sobre a Paraíba (NIMER, 1979).

Na porção que compreende os Cariris Velhos, assim como em todo o semi-árido, os valores mais elevados de precipitação ocorrem em virtude da atuação da ZCIT e da FPA. A Frente Polar, em suas pulsações rumo ao norte, atinge o nordeste, chegando a alcançar as porções latitudinais correspondentes ao Estado do Rio Grande do Norte, promovendo o encontro entre estes dois sistemas (NIMER, 1980).

O setor leste da bacia (porção Cariris Velhos) faz parte de um ponto final de invasão de correntes perturbadas, representado por um largo corredor bastante árido, no sentido NE-SW. Conforme explicitado anteriormente, na área de Desterro, situada entre no divisor de águas das bacias do rio Piranhas e Paraíba (Sub-bacia Taperoá), encontra-se o índice pluviométrico mais baixo, alcançando o valor de 276 mm (NIMER, 1979).

Uma característica do clima semi-árido é que a amplitude das precipitações varia consideravelmente em termos espacial e temporal, dependendo da atuação das anomalias climáticas EL NINO (ano seco) e LA NINA (ano chuvoso).

Corrêa e Azambuja (2005) reforçam esta idéia afirmando que as chuvas interanuais no Nordeste brasileiro demonstram uma irregularidade notável, podendo variar em totais, na mesma estação, de 200 a 900 mm, dependendo da atuação eventual dos sistemas atmosféricos de um ano para o outro. Além disso, as médias não têm significado real, pois o que conta para a operação dos sistemas de superfície é o número total de dias chuvosos por ano. Portanto, a vegetação no semi-árido apresenta mais adaptações xerofíticas do que seria esperado para os padrões médios de precipitação anual.

O padrão espacial das anomalias pluviométricas capazes de provocar períodos de longa estiagem ou inundações sobre o semi-árido do Nordeste brasileiro está relacionado não apenas ao deslocamento da ZCIT para as latitudes austrais, mas, sobretudo à duração de permanência da mesma sobre estas regiões. Em anos de índices pluviométricos abundantes, a ZCIT permanece neste local aproximadamente até o mês de abril, ao passo que, em anos de estiagem, este sistema retorna a sua posição original no mês de março. (NOBRE e SHUKLA, 1996).

Os fatores termodinâmicos que agem no deslocamento da ZCIT, influenciando a distribuição da chuva em áreas do Atlântico Sul, surgem em decorrência da influência mútua entre as variáveis oceânicas e atmosféricas, observadas em eventos dipolares (SILVA, 2000).

Esta vinculação da variabilidade térmica entre o Oceano Pacífico e América do Norte pode culminar no aquecimento do Atlântico Norte criando um gradiente meridional da TSM direcionando-se ao Nordeste do Brasil e potencializando a atuação da ZCIT nesta região (ANDREOLI e KAYANO, 2007).

A ocorrência de um gradiente positivo da TSM no Atlântico Norte fortalece a ZCIT intensificando a precipitação no Nordeste Brasileiro. Neste caso, a elevação da pluviosidade ocorre em virtude do aumento da evaporação sobre o oceano e o conseqüente deslocamento desta umidade para a Região Nordeste por meio dos ventos alísios (ANDREOLI e KAYANO, 2007).

De acordo com Araújo et al., (2009), levando em consideração o Índice de Anomalia de Chuvas para região da sub-bacia do rio Taperoá, aponta-se uma seqüência de períodos

severamente secos e úmidos registrados entre os anos de 1912 a 2004. Os principais anos secos registrados foram 1912, 1962, 1990, 1993 e 1998; enquanto os anos que se destacam mais úmidos foram 1920, 1924, 1974, 1985 e 2004 (Figura 13).

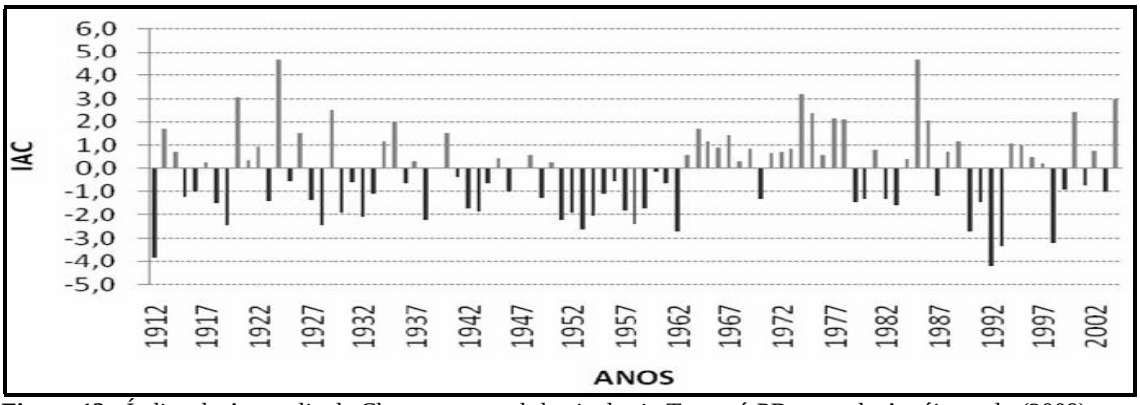
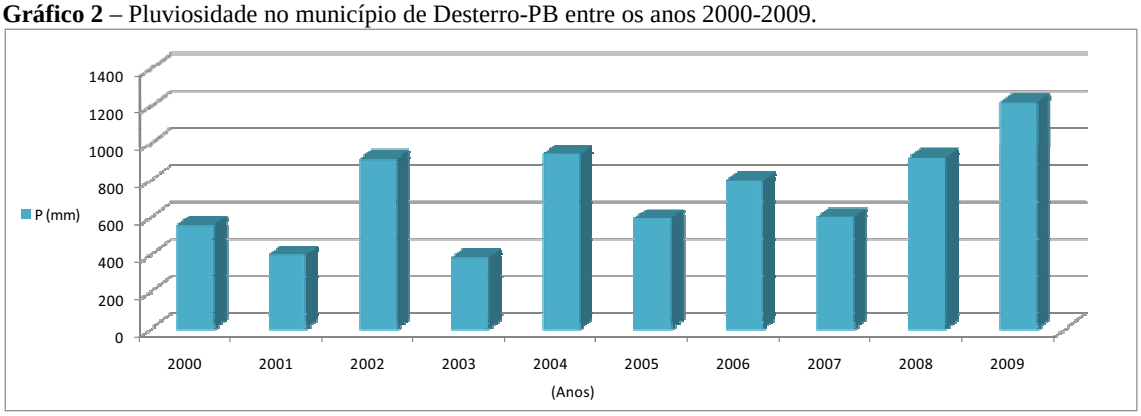


Figura 13 - Índice de Anomalia de Chuva para a sub-bacia do rio Taperoá-PB segundo Araújo et al., (2009).

Conforme os referidos autores, a existência de anos secos consecutivos a partir dos anos de 1960 e o aumento da severidade dos eventos após estes anos nesta região, pode ser explicada como conseqüência da ação antrópica.

Através de dados cedidos pela AESA, percebe-se que, além do ano de 2004, outros anos se destacaram em termos de volume de precipitação. São os anos de 2008 com um índice de 924,8 mm, e o ano de 2009 com 1.224,4 mm (Gráfico 2).

Gráfico 2 – Pluviosidade no município de Desterro-PB entre os anos 2000-2009.



Fonte: AESA

Este último ano possui forte destaque pelo fato de que o volume de chuva apresentado é bastante atípico para esta região, chegando a se assemelhar à montantes pluviométricos de um clima tropical úmido. Isto aponta para a possibilidade de ocorrência de um evento

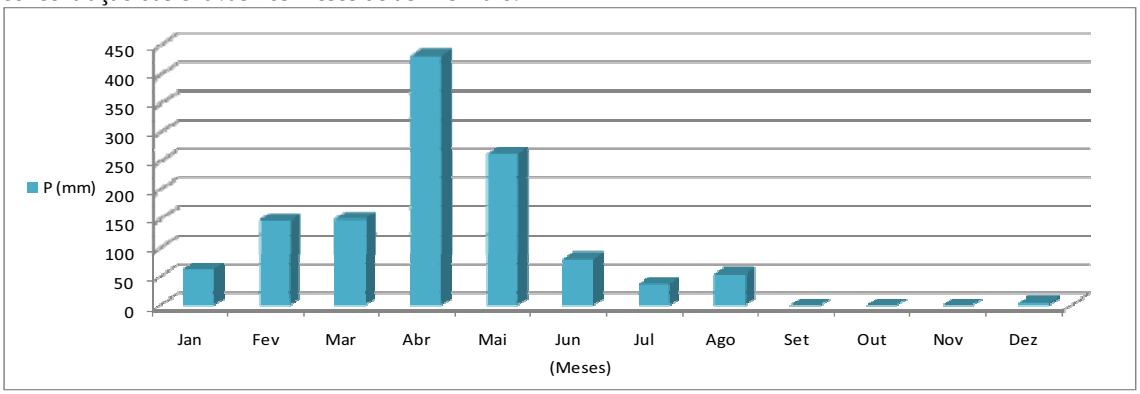
pluviométrico bastante intenso, tendo em vista que este montante concentra-se no intervalo de 3 a 4 meses. Uma conseqüência quase que inevitável deste montante é que, neste ano, o ritmo de erosão e sedimentação para este região possivelmente elevou-se significantemente (Gráfico 2).

De acordo com Casseti (1991) as alterações climáticas locais como disritmias pluviométricas podem assumir maiores proporções em função do agravamento de impactos no sistema morfológico, gerando o agravamento da erosão em áreas relativamente frágeis do ponto de vista morfodinâmico e gerando o assoreamento dos cursos d'água.

Nota-se que entre os anos de 2000 e 2009 destacam-se quatro anos com índice pluviométrico acima de 800 mm, caracterizando anos bastante úmidos, sendo estes os anos de 2002, 2004, 2008 e 2009. Estes índices podem estar relacionados a ação do fenômeno LA NINA, que altera substancialmente o montante pluviométrico em todo o semi-árido nordestino.

Uma das consequencias mais relevantes deste fenômeno para o meio ambiente é o aumento do potencial erosivo, tendo em vista que o caráter irregular das chuvas no semi-árido potencializa e acelera a morfogênese (Gráfico 3).

Gráfico 3 – Pluviosidade entre os meses de janeiro a dezembro no município de Desterro-PB. Notar a concentração das chuvas nos meses de abril e maio.

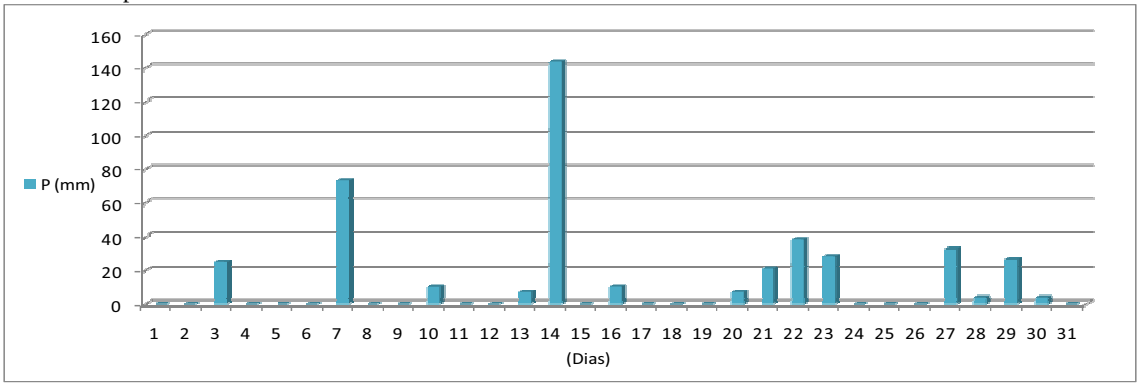


Fonte: AESA

Em 14 de abril de 2009 registrou-se o índice de 143,9 mm no município de Desterro. Este valor é característico de um evento extremo, tendo em vista que, em anos secos, esta

quantidade de chuva representa praticamente a metade do que se chove em apenas um ano (Gráfico 4).

Gráfico 4 – Distribuição da pluviosidade em abril de 2009 no município de Desterro-PB. Notar a elevada intensidade pluviométrica entre os dias 13 e 15.



Fonte: AESA

A ocorrência de eventos extremos desta natureza são os maiores responsáveis pela aceleração na mudança do padrão morfológico dos canais efêmeros no semi-árido nordestino, e pelo aumento na sedimentação sobre os pontos desconectados de trechos onde a drenagem encontra-se interrompida pela construção de pequenas barragens (AZAMBUJA, et al., 2009).

Outro aspecto relevante diz respeito ao fato de que, a concentração da chuva em determinado período do ano, provoca a constante remobilização de material sedimentar, dando origem á solos desnudos.

Ao analisar as imagens geradas pelo Satélite METEOSAT, disponíveis na página eletrônica da Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais do INPE, percebeu-se a forte atuação da ZCIT reforçada pela atuação da ZCOU sobre extensas áreas do semi-árido nordestino com destaque para a Paraíba e Pernambuco, no mesmo período de coleta dos dados mencionados anteriormente (Figura 14a e 14b).

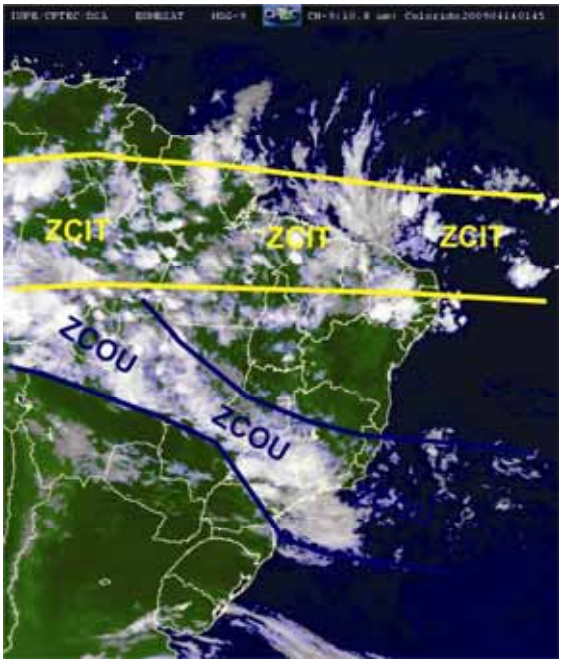


Figura 14a – Imagem do Satélite Meteosat, Banda Color IR9 para o dia 14/04/2009. Notar a presença da ZCIT sobre o NE com forte índice de nebulosidade e da ZCOU ao sul. Fonte: (INPE, 2009).

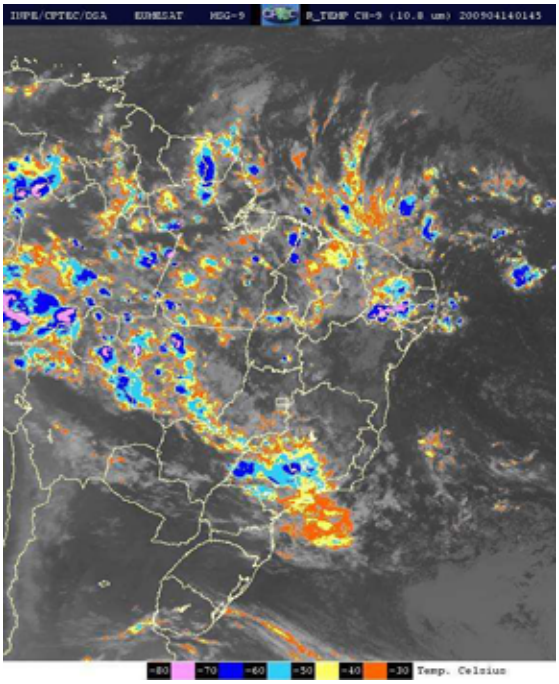


Figura 14b – Imagem do Satélite Meteosat, Banda SPW 10.8 para o dia 14/04/2009. Notar baixas temperaturas sobre o Sertão de Pernambuco e Paraíba. Fonte (INPE, 2009).

De acordo com Galvíncio et al., (2010), entre os dias 10 e 15 de abril de 2009, percebeu-se uma forte atuação da ZCIT sobre a altura do município de São José do Sabugi-PB, que se encontra próximo ao município de Desterro, além da atuação de uma convergência de umidade associada, auxiliada pela circulação anticiclônica, causando forte instabilidade na região. Este fenômeno esteve aliado ao fluxo zonal e de leste, com cavados invertidos embebidos, resultando em uma atividade convectiva durante boa parte destes dias.

Deste modo, percebe-se que a atuação dos sistemas secundários ou correntes perturbadas sobre o semi-árido nordestino, são os principais responsáveis pelo desencadeamento de fenômenos climáticos de alta magnitude, capazes de desencadear a aceleração da morfogênese sobre estas regiões, podendo gerar danos e/ou perdas materiais para as populações residentes nestas áreas.

O município de Desterro foi escolhido para a extração dos valores de pluviometria pelo fato de ser o principal município da área de estudo, pois seus limites políticos encontram-se totalmente inseridos no interior da bacia, diferentemente dos demais municípios.

4.6 Cobertura vegetal e uso do solo

De modo geral, toda a área da sub-bacia do rio Taperoá é constituída por uma vegetação do tipo savana estépica, conhecida no Brasil como caatinga. Este tipo de formação vegetal apresenta estrato arbustivo dominante e alguns indivíduos arbóreos esparsos, além de larga concentração de cactáceas, diferindo apenas em termos de densidade (SOUZA et al., 2004).

Este domínio natural é portador de uma singularidade marcante no contexto climático e hidrológico, dando origem a plantas extremamente adaptadas às condições climáticas rigorosas da região. (AB'SÁBER, 2003).

As principais espécies que ocorrem na região são: *Cereus jamacaru DC* (mandacaru); *Pilosocereus gounellei Weber* (xique-xique); *Caesalpinia pyramidalis Tul* (catingueira) e *Mimosa sp.* (jurema).

Levando em consideração a classificação de Souza (2008), a vegetação da região do Cariri, onde se encontra inserida grande parte da sub-bacia do rio Taperoá, pode ser subdividida em dois importantes sub-grupos:

(i) *Caantigas com baixo nível de antropismo e degradação*: ocorre nas áreas elevadas, vales dos rios e locais onde o processo pedogenético deu origem a solos mais profundos. As plantas pertencentes a este subgrupo chegam a alcançar o estrato arbóreo e podem ser subdivididas em arbóreo-arbustivas fechadas (em decorrência do baixo índice de degradação ocorrente nesta parcela da Caatinga, se assemelhando muito à vegetação nativa); e arbustivo-arbórea fechada (onde é perceptível um certo nível de degradação).

(ii) *Caatingas com alto nível de antropismo e degradação*: localizam-se nas áreas onde a degradação da estrutura superficial da paisagem se apresenta mais acentuada, resultante das práticas inadequadas de uso da terra. Nesta parcela da Caatinga, ocorrem apenas plantas de estrato arbustivo e herbáceo, podendo ser subdivididas em: arbustiva fechada (que consiste numa área onde o processo de

degradação não se apresenta tão avançado, podendo se regenerar caso as práticas inadequadas de uso da terra sejam interceptadas); e arbustiva semi-aberta (que enfrenta um estágio de degradação bastante avançado, marcado por pequenas manchas de solo recobertas apenas por plantas herbáceas, originando espaços com pequenas ilhas de vegetação. E por fim, um terceiro tipo, arbustiva aberta (ocorre nas áreas com elevado índice de degradação, com forte presença de solo exposto).

Um aspecto importante é que, tanto nas áreas de caatingas do tipo arbustiva semi-aberta, como aberta, existe pouca condição de sobrevivência para o gado bovino, dando vez ao desenvolvimento da caprinocultura (SOUZA, 2008).

Em alguns trechos da área de estudo, a caatinga se apresenta consideravelmente densa, com vegetação rasteira constituída por herbáceos espinhosos e arbustos densos apresentando significativa concentração de cactáceas. Por outro lado, as áreas degradadas aproveitadas para o desenvolvimento da agricultura são em geral, ocupadas pelas culturas de palma forrageira, agave, algodão, milho e feijão (SEMARHM, 2000) (Figura 15).

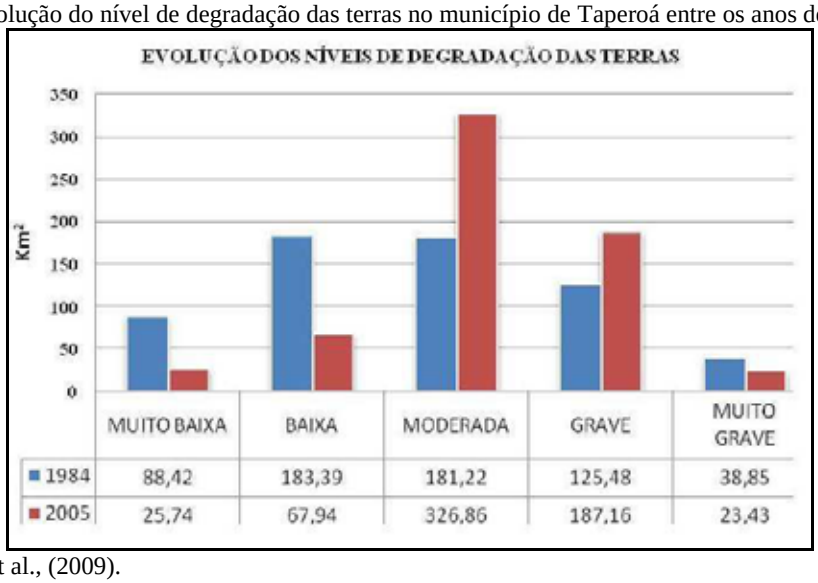
Figura 15 – Plantação de palma associada a milho em rampas de colúvio na altura do município de Taperoá-PB. Foto: o autor.

A cobertura vegetal em extensas áreas da sub-bacia do rio Taperoá apresenta-se bastante esparsa, com uma considerável área de solo exposto, correspondente às áreas urbanizadas e degradadas pela exploração mineral e uso inadequado do solo. As formas de uso do solo que mais impactam negativamente esta área são: a caprinocultura extensiva, a exploração de vários tipos de minérios e a extração de lenha para a transformação do carvão. Estas práticas estão causando um processo intenso de degradação da estrutura superficial da paisagem gradativamente nesta região (PAIVA et al., 2009).

De acordo com Duarte et al., (2009), no município de Taperoá-PB, entre os anos de 1984 e 2005 a cobertura vegetal foi consideravelmente reduzida, acarretando em graves problemas ambientais como perda de solo, ocasionando o assoreamento dos rios e reservatórios naturais e artificiais. A classe de cobertura da terra "muito densa" representava 77,13 km^2 em 1984, passando a representar 51,82 km^2 em 2005. Concomitantemente, as classes de cobertura semi-rala e solo exposto aumentaram significantemente de 219,45 km2 em 1984 para 329,87 em 2005 (Gráfico 5).

Os impactos ambientais gerados pelo inadequado uso e manejo do solo na sub-bacia do rio Taperoá é uma tendência geral pertencente a todas as demais áreas rurais do semi-árido brasileiro, ou pelo menos, em grande parte destas, onde a falta de investimentos em técnicas agrícolas sustentáveis permite a evolução deste problema.

Gráfico 5 – Evolução do nível de degradação das terras no município de Taperoá entre os anos de 1984-2005.



Fonte: Duarte et al., (2009).

De acordo com Salomão (1999), o controle da erosão acelerada, sobretudo em terras rurais é um problema muito complexo de ser resolver, pois envolve questões de ordem técnica e sócio-econômica. Nesse contexto, é fundamental a utilização de práticas agrícolas de conservação do solo adequadas e a adoção de medidas de prevenção contra a erosão.

5 MATERIAIS E MÉTODO

A metodologia desta pesquisa foi adotada no intuito de compreender mais claramente os processos morfodinâmicos que ocorrem ao longo da bacia do alto curso do rio Taperoá-PB, enfatizando as áreas com ocorrência de erosão e buscando compreender os principais fatores desencadeadores deste processo, tomando como base principalmente o uso do solo e a geomorfologia.

Para isso, utilizou-se como base metodológica central o princípio da morfodinâmica de Tricart (1977), que propõe de três níveis de comportamento do meio, são eles: meios estáveis, *intergrades* e fortemente instáveis. Nesta pesquisa, buscou-se seguir de forma fiel a tipologia estabelecida por Tricart, buscando representá-la através do mapa morfodinâmico da bacia do alto Taperoá-PB.

Como o método de Tricart (1977) não estabelece regras para análise em SIG, utilizou-se como auxílio metodológico o trabalho desenvolvido por Castro (1998), que se baseou nos quatro níveis da pesquisa geográfica de Libault (1971), e representou através de operações em SIG os níveis de instabilidade do meio. Em relação às normas técnicas para padronização deste trabalho, utilizou-se como base a publicação de Oliveira e Sígolo (2005), que se baseia nas normas técnicas atuais da ABNT destinadas a elaboração de trabalhos acadêmicos (NBR: 14.724: 2005).

O método adotado por Castro (1998), baseado em Libault (1971), compreende os seguintes níveis: *compilatório*, *correlatório*, *semântico* e *normativo* (Figura 16).

Em suma, no nível compilatório desenvolve-se o levantamento bibliográfico, a obtenção das informações cartográficas, a delimitação da área de estudo e a definição dos mapas temáticos (CASTRO, 1998).

Em outro momento, a correlação diz respeito à etapa em que se desenvolve a seleção das variáveis ambientais necessárias para avaliação do Grau de Instabilidade Morfodinâmica, isto é, compreende o momento da transição entre o nível de compilação para o nível de

compreensão das inter-relações mútuas entre as variáveis ambientais que participam da dinâmica sistêmica na área de estudo (CASTRO, 1998).

No nível semântico ocorre a classificação dos graus de instabilidade da paisagem, por meio do estabelecimento das regras de correlação entre as variáveis (CASTRO, 1998).

Por fim, o nível normativo é tido como o momento da obtenção do produto final da pesquisa, o mapa morfodinâmico, onde são realizadas as interpretações (CASTRO, 1998).

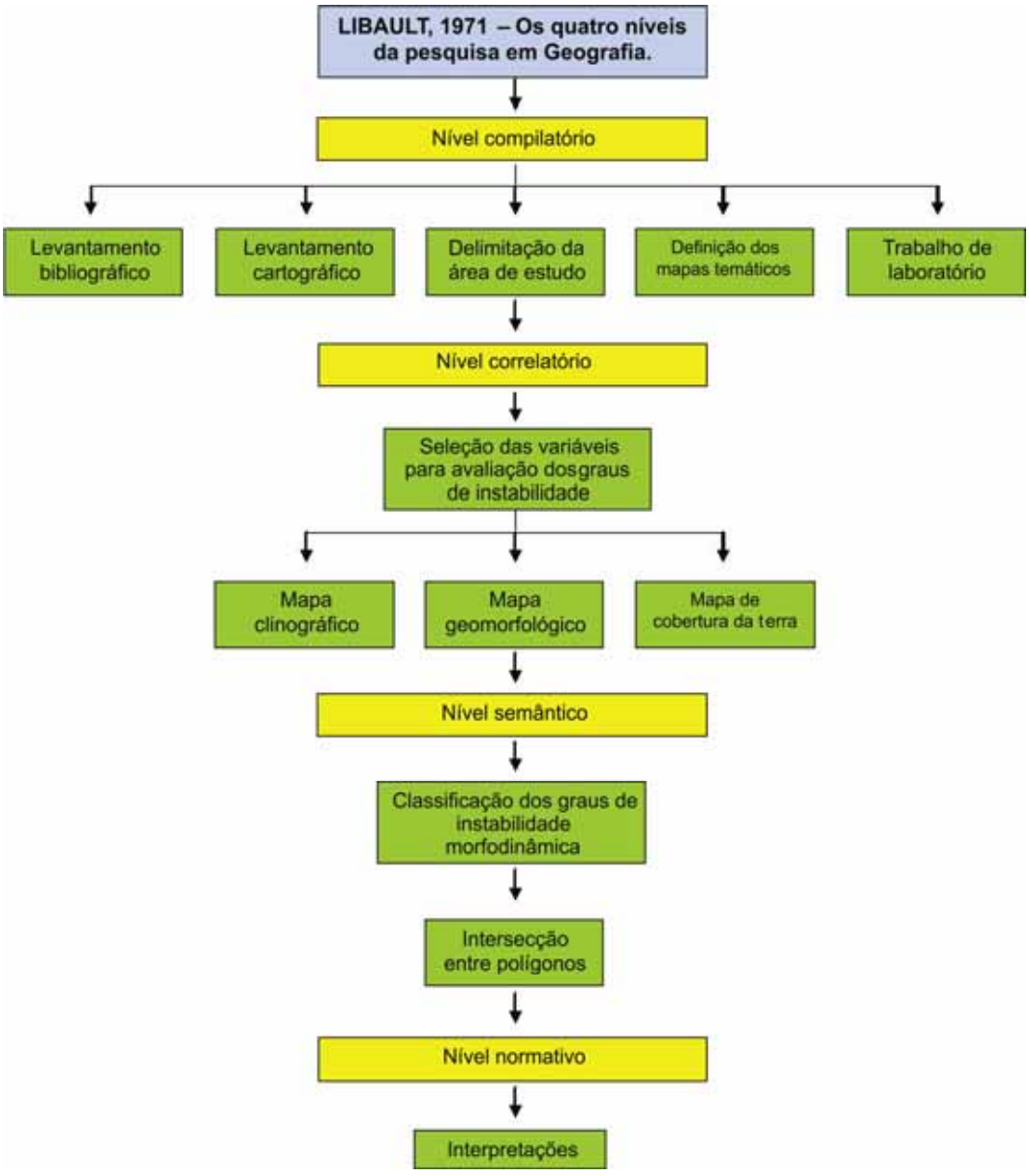


Figura 16 – Organograma representando os níveis metodológicos empregados na pesquisa. Fonte: adaptado de Leme (2007).

Embora a metodologia de Castro (1998) seja bastante satisfatória para aplicação em SIG, não é dispensável o trabalho de campo para a validação e detalhamento das informações obtidas. De acordo com Vitte (2004), a importância do trabalho de campo na Geomorfologia reside no fato de que, esta ciência se baseia fortemente nos fenômenos da natureza que são observados e discriminados a partir da dedução do observador sobre eles, onde se propõem hipóteses, abrindo mão para abandoná-las quando suas conseqüências são contestadas pela realidade.

Portanto, no intuito de investigar minuciosamente as informações contidas no mapa morfodinâmico, optou-se em realizar a observação *in situ* dos processos superficiais em diferentes parcelas pré-selecionadas na área de estudo. Este critério de pré-seleção levou em consideração as áreas identificadas e delimitadas através do cruzamento entre as informações de declividade, geomorfologia e cobertura do solo.

5.1 Nível compilatório

5.1.1 Levantamento bibliográfico

O levantamento bibliográfico desta pesquisa buscou resgatar primeiramente os conceitos do trabalho clássico de Tricart (1977), objetivando compreender mais profundamente sua proposta e as principais formas de aplicação nos estudos de Geomorfologia Ambiental. Além disso, realizou-se uma pesquisa detalhada dos atuais trabalhos que desenvolveram esta temática. Notou-se deste modo, uma considerável escassez de estudos que se utilizam dos princípios originais da morfodinâmica, sobretudo em áreas semi-áridas. No entanto, destacam-se alguns importantes trabalhos, a exemplo de Corrêa e Azambuja (2005); Menezes et al., (2007); e Vasconcelos et al., (2007).

Além do levantamento dos trabalhos diretamente ligados à morfodinâmica, buscou-se também pesquisas que desenvolveram este princípio através do Geoprocessamento. A este respeito destaca-se o trabalho de Castro (1998) e Brandão (2005).

Ambos realizaram o cruzamento entre variáveis ambientais para confeccionar uma carta de instabilidade ambiental se baseando no princípio de Tricart (1977). No caso de

Brandão (2005) foi acrescentada a variável antrópica (densidade demográfica) para a determinação do Índice de Degradação Ambiental para a bacia hidrográfica do Rio do Peixe - PB.

No levantamento bibliográfico também buscou-se referências acerca dos processos erosivos em áreas semi-áridas, no intuito de discutir suas peculiaridades e principais formas de manifestação.

5.1.2 Obtenção das informações cartográficas

As informações cartográficas da área foram obtidas gratuitamente através dos órgãos públicos competentes.

As informações altimétricas e de declividade do terreno foram extraídas das imagens coletadas pelo SRTM, disponíveis no Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil (TOPODATA/INPE) com 30 metros de resolução.

Também foram obtidas imagens do Satélite Landsat 7 (sensor ETM+), em oito bandas espectrais, também disponíveis gratuitamente no Catálogo de Imagens do INPE. As imagens são do ano de 2006 e foram obtidas levando em consideração uma cobertura mínima de nuvens em uma época do ano próxima ao período úmido, para não mascarar a vegetação.

Além disso, também foram obtidas imagens pancromáticas de alta resolução coletadas pelo Satélite CBERS 2B (sensor HRC), para auxiliar no mapeamento de cobertura da terra e na visualização de algumas localidades de interesse, haja vista sua excelente resolução.

Também foram utilizadas as cartas topográficas que abrangem a área da bacia: Folha SB-24-Z-D-II (Juazeirinho) e a Folha SB-24-Z-D-I (Patos), que foram utilizadas como importante auxílio para a confecção do mapa geomorfológico e para orientação em trabalho de campo.

Estes dados foram trabalhados em ambiente SIG, através do Arcgis 9.3, com licença disponível no Departamento de Ciências Geográficas da UFPE e utilizado nas dependências do Laboratório de Geoprocessamento deste departamento.

5.1.3 Técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto

Este tópico diz respeito as duas ultimas etapas do nível compilatório (a delimitação da área de estudo e a pré-definição dos mapas temáticos).

A delimitação da área de estudo foi realizada através da imagem estereoscópica do SRTM com resolução de 30 metros, após serem submetidos a um processo de refinamento da resolução, realizada por meio de um processo normal de interpolação, em que se calculam valores de pixels intermediários aos valores de entrada. No TOPODATA a seleção dos coeficientes geoestatísticos foi estabelecida de modo empírico, pela avaliação dos resultados finais de testes exaustivos sobre o território nacional conforme se observa no trabalho de Valeriano e Rossetti (2010).

Um dos objetivos centrais do TOPODATA foi o de criar derivações básicas de informações topográficas, como: declividade, orientação de vertentes, curvaturas e etc., usando como ponto de partida os dados coletados pelo SRTM, para que estejam prontamente à disposição da comunidade científica para seu devido uso (VALERIANO e ROSSETTI, 2010).

Com estas informações em mãos, inicialmente, o MDE foi exportado para o formato GRID, no intuito de evitar problemas ao extrair os dados. Após isso, foi criado um modelo sem depressões, para eliminar as imperfeições caracterizadas por depressões espúrias, picos anômalos e pontos ou áreas com ausência de dados.

Posteriormente foram criados dois arquivos no formato *Raster*, um contento direção de fluxo e outro contendo o fluxo acumulado de todas as drenagens contidas na imagem. A partir de então foram extraídas todas as drenagens com valor de fluxo superior a 100 e outra com limiar igual a 1000. Com estas informações foi possível gerar um *raster* atribuindo a cada

trecho de drenagens, valores correspondentes a direção de fluxo no interior da bacia, gerando a delimitação (Figura 17).

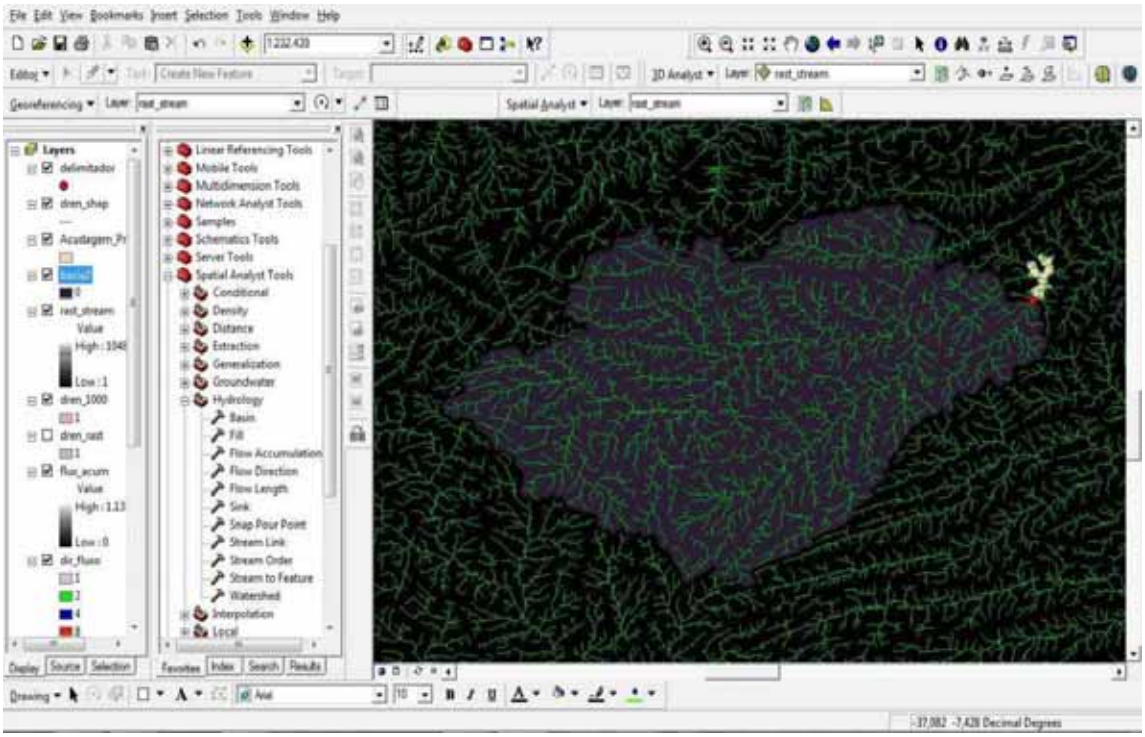


Figura 17 – Área delimitada após o processo automático de extração das drenagens. Fonte: Saulo Roberto de Oliveira Vital (2011).

De acordo com Medeiros et al., (2009), que testou o uso dos dados do SRTM para a delimitação automática de bacias de drenagem, a oferta de dados altimétricos, particularmente úteis na delimitação de bacias hidrográficas, vem aumentando de forma substancial nos últimos anos. Portanto, o MDE SRTM pode ser qualificado como uma informação com padrão de classe A conforme o Padrão de Exatidão Cartográfica – Altimétrica definido nas Normas Técnicas da Cartografia Nacional; concomitantemente, a base cartográfica tradicional composta pelas curvas de nível do Mapeamento Sistemático Nacional na escala de 1:100.000 obtida na década de 1970 e 1980 do século passado, através de levantamentos aerofotogramétricos, foi classificado como padrão classe B.

Após o processo de delimitação da área de estudo, partiu-se para o cálculo da área da bacia, utilizando a função *Calculate Geometry* do Arcgis 9.3, chegando ao valor de 552,7 km^2.

Após os procedimentos de seleção e delimitação da área de estudo com a estipulação de seus respectivos limites, partiu-se para seleção dos mapas temáticos a serem utilizados no cruzamento. No intuito de tornar mais viável a análise, optou-se em trabalhar com as seguintes variáveis:

- Declividade: tendo em vista a importância da inclinação do relevo na deflagração de áreas susceptíveis a erosão;

- Geomorfologia: pela importância das unidades do relevo na morfodinâmica. Nesta variável buscou-se também embutir a Geologia, tendo em vista que a as formas de relevo da bacia são amplamente controladas por zonas de cisalhamento que, por sua vez, condicionam uma grande quantidade de suítes intrusivas de diversas afinidades químicas.

- Cobertura do solo: devido à escala de análise em função da área da bacia, optou-se em construir um mapa representativo da cobertura superficial da terra na área, sem, portanto, empreender esforços na construção de um mapa de uso do solo. Isto implica em dizer, que a análise em detalhe do uso do solo neste trabalho foi realizada através da observação em campo.

5.2 Nível correlatório

5.2.1 Seleção das variáveis ambientais

Os respectivos mapas de declividade e geomorfologia foram elaborados com base na imagem SRTM de 30 metros. O mapa de declividade foi de acordo com os parâmetros recomendados pela Embrapa (Tabela 2).

Para o mapeamento geomorfológico foi usado como base o MDT da bacia, sobreposto ao relevo sombreado "*hillshade*", ambos utilizados para delimitação das unidades do relevo na paisagem (Figuras 18a e 18b). Além disso, nas áreas de difícil interpretação, buscou-se o auxílio das imagens do satélite CBERS (HRC) e LANDSAT (ETM+).

Tabela 2 – Classes de declividade segundo a EMBRAPA (2005).

Classes de Declividade	
Nome da Classe	**Declividade (%)**
Plano	0 a 3
Suave ondulado	3 a 8
Moderadamente ondulado	8 a 13
Ondulado	13 a 20
Forte ondulado	20 a 45
Montanhoso ou escarpado	> 45

Fonte: Valadares et al., (2005)

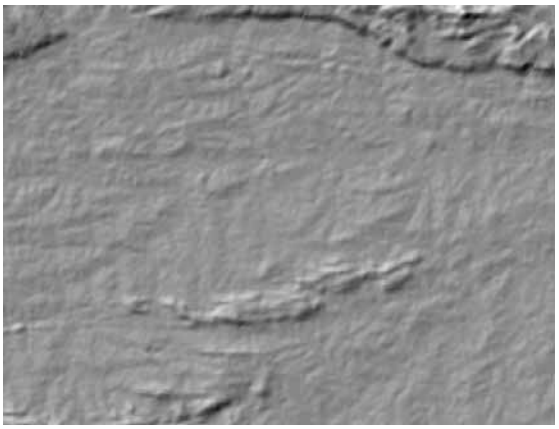


Figura 18a – Relevo sombreado do setor centro-sul da bacia. Notar os lineamentos e as formas do relevo.

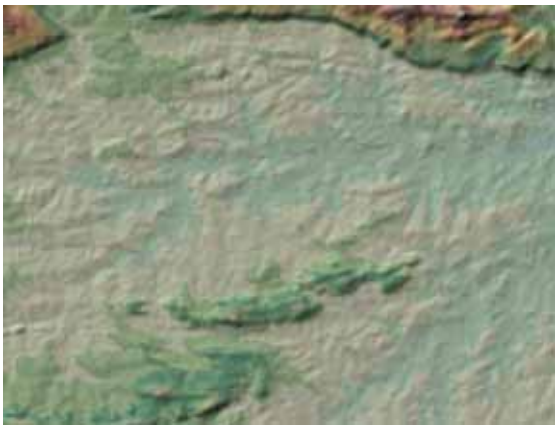


Figura 18b – Hipsometria sobreposta ao relevo sombreado com tom de transparência no setor centro-sul da bacia.

Para a confecção do mapa de cobertura da terra foram utilizados os dados do satélite LANDSAT 7 (ETM+), disponíveis no site oficial do INPE. As imagens deste sensor são compostas por oito bandas espectrais que operam do visível ao infravermelho termal, contendo uma banda pancromática com resolução espacial de 15 metros e melhoria de 60 metros de resolução na banda termal; as demais possuem resolução de 30 metros. Este satélite possui excelente desempenho para mapeamento de uso e cobertura da terra, principalmente em áreas rurais, mesmo em grandes extensões territoriais (LOCH et al., S/DATA).

De acordo com Loch et al., (S/DATA) é possível realizar mapeamentos nas escalas de 1:100.000, 1:50.000 e 1:25.000 com estas imagens, obtendo ótima resolução temática para diferenciação de 4 a 7 classes de uso e cobertura do solo, com boa resolução e nitidez. Na

escala de maior detalhe (1:25.000) o LANDSAT 7 pode ser apresentar ainda mais satisfatório que o satélite CBERS (Tabela 3).

Tabela 3 – Diferentes respostas entre as imagens LANDSAT 7 e CBERS 2 para mapeamento temáticos em diferentes escalas.

Resolução temática p/ mapeamentos	Landsat-7	CBERS 2
1:100.000	Ambas as imagens apresentam resolução temática ótima para diferenciação de entre 5 a 7 classes de uso/cobertura do solo, com a resolução e nitidez de imagens bastante semelhantes; neste caso CBERS apresenta melhor condição custo/benefício.	
1:50.000	Adequada	A imagem adquirida apresentou restrições radiométricas, quanto a distinção de número de classes de uso/cobertura do solo, pode ser utilizada em casos específicos, porém com várias restrições.
1:25.000	Adequada. Apesar de ser uma escala média, com a fusão de bandas: PAN + 3 bandas, pode-se obter maior número de classes.	Inadequada

Fonte: modificado de Loch et al., (S/DATA).

Para a diferenciação das classes temáticas de cobertura da Terra foi realizada uma composição entre as bandas: 3, 4 e 7, que foram selecionadas pelo fato de suas características espectrais serem satisfatórias para este tipo de mapeamento e por terem gerado a melhor combinação visual para diferenciação das classes na área de estudo. Algumas combinações, dependendo do que se pretenda mapear, são padronizadamente recomendadas, como a combinação 2, 3 e 4 e outras, no entanto, esta regra pode variar de acordo com a localidade.

A imagem do satélite LANDSAT 7 utilizada para este mapeamento é do ano de 2006 e foi escolhida levando em consideração os critérios de sazonalidade e nebulosidade. Portanto, foi escolhido o mês de agosto onde a vegetação ainda se apresentava visível devido à proximidade do término da estação chuvosa, além disso, o ano de 2006 apresentou um índice pluviométrico bastante satisfatório para esta região, em torno de 800 mm. Outro aspecto decisivo para a escolha da imagem é que esta se apresentou entre todas com a menor cobertura de nuvens. Todavia, uma pequena cobertura de nuvens a oeste da bacia, distorceu

um pouco a classificação realizada através do Arcgis 9.3, confundindo a sombra das nuvens com corpos aquosos.

Antes da escolha desta imagem buscaram-se outras, obedecendo ao mesmo critério mencionado anteriormente, além do nível de detalhamento. Nesta etapa, uma das opções foi utilizar os dados do satélite CBERS 2B (HRC e CCD), realizando uma fusão entre ambas as câmaras. No entanto, esta opção foi descartada pelo fato de não ter sido encontradas imagens suficientes da mesma época do ano para a construção do mosaico, haja vista, que para se obter uma cobertura total da área de estudo com imagens HRC seriam necessárias seis imagens. Algumas continham uma cobertura de nuvens excessiva, enquanto outros pontos de órbita possuíam um banco de imagens com baixa amplitude sazonal, o que impossibilitou o mapeamento. Por isso, partiu-se para a opção de utilização da imagem LANDSAT (ETM+), que também apresenta excelentes resultados para esta aplicação, conforme explicitado anteriormente.

No procedimento de composição entre as bandas do satélite LANDSAT (ETM+) buscou-se a visualização de uma maior quantidade possível de classes de cobertura do solo. Para isso, as bandas escolhidas foram as 3, 4 e 7. Na banda 3, a vegetação mais densa e uniforme apresenta grande poder de absorção, ficando escura e permitindo o contraste com áreas de solo exposto. Na banda 4 (infravermelho próximo) os corpos aquosos absorvem muita energia, além de apresentar sensibilidade a rugosidade da vegetação. Por fim, a banda 7 (Infravermelho distante) encontra-se forte sensibilidade à morfologia do terreno, solos e geologia, bastante sensível também a discriminação de produtos de alteração hidrotermal, razão pela qual algumas áreas dos corpos aquosos terem aparecido bastante vermelhas na imagem.

A etapa seguinte consistiu no registro da imagem, utilizando como referência as rodovias e a açudagem importadas das cartas topográficas vetorizadas disponíveis no portal da AESA. Para tanto, sabe-se que a açudagem não é a melhor referência para georreferenciar imagens por conta de seu caráter mutável, por isso, utilizou-se como referência primária os entroncamentos das rodovias (Figura 19).

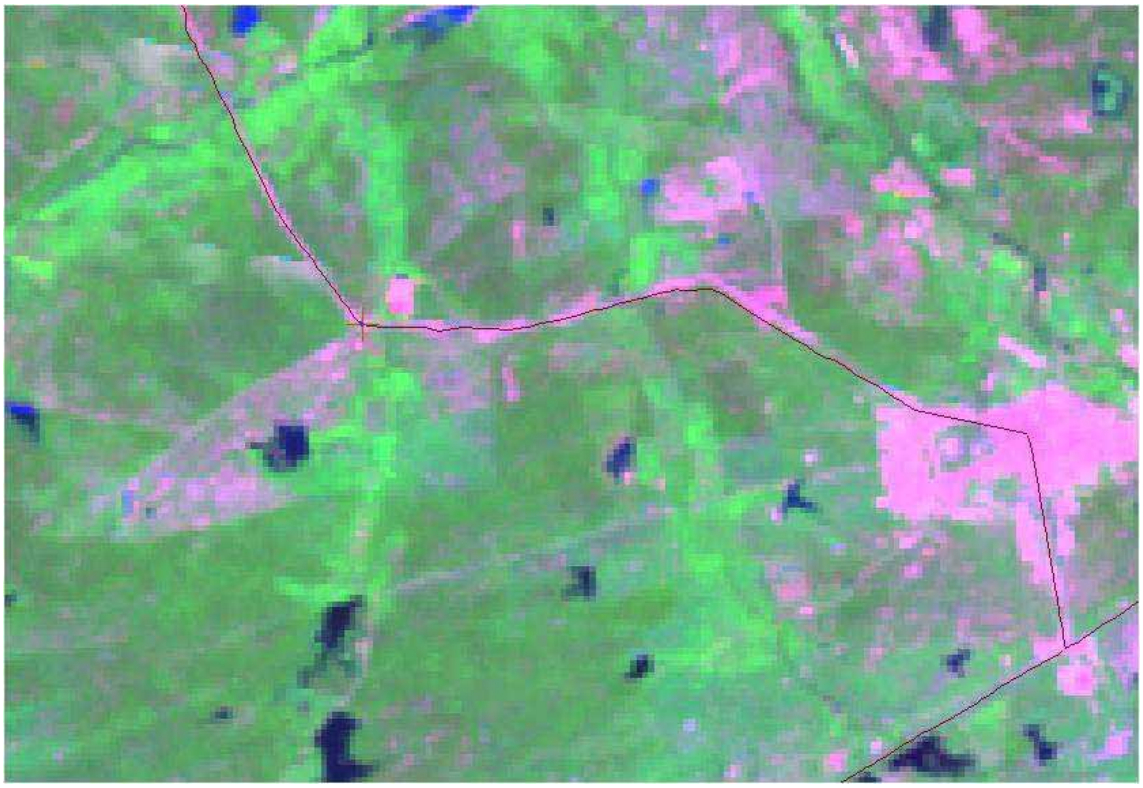


Figura 19 – Procedimento de georreferenciamento da imagem Landsat 7 ETM+, utilizando as rodovias como referência.

Após as etapas de escolha e tratamento dos dados, passou-se para o processo de classificação supervisionada. Este procedimento foi realizado levando em consideração as respostas espectrais das áreas individualizadas por meio da composição entre as bandas. A partir de então, foram criados 20 polígonos sobre cada uma das áreas distinguidas pela composição RGB, relacionando-as às classes correspondentes de cobertura da terra. Deste modo, foram escolhidas quatro classes: vegetação densa, vegetação esparsa, água e solo exposto. A malha urbana, as rodovias e as drenagens foram adicionadas a partir das cartas topográficas da região.

A classificação aqui denominada "cobertura da terra", embora se apresente aparentemente genérica, objetivou eminentemente a visualização as áreas onde a degradação se apresenta mais acentuada, levando em consideração o critério de fitoestabilidade proposto por Tricart (1977), que considera a vegetação como fator primordial para a estabilização do terreno. Portanto, levando em consideração a área da bacia (552 km^2) e a escala de análise utilizada (1:100.000), tornou-se dispensável a definição de demais classes, como as de uso do solo por exemplo.

A variável topografia foi representada pelo mapa de declividade e geomorfologia. Optou-se em não utilizar o mapa hipsométrico no cruzamento, pois as unidades geomorfológicas mapeadas já subtendem a altimetria do terreno, a exemplo dos pedimentos entre 550 e 650 metros e as cimeiras acima de 800 metros. Desse modo, para a obtenção de um único mapa representativo da variável topografia, optou-se em realizar um primeiro cruzamento entre os mapas de declividade e geomorfologia.

A cobertura vegetal foi representada a partir do mapa de cobertura da terra, que levou em consideração o porte da vegetação e as áreas de solo exposto com fortes sinais de degradação, ora relacionadas à distribuição da malha urbana, ora amplamente atrelada aos cursos dos rios.

A única variável não representada espacialmente foi o clima, tradicionalmente expressada em outros trabalhos, a exemplo de Castro (1998), através do mapa de pluviosidade. Entendeu-se que a falta de dados consistentes em diversos pontos da bacia através de estações pluviométricas regularmente monitoradas, foi um impedimento para a construção deste produto. Outra questão diz respeito à uniformidade da precipitação na área, haja vista, boa parte de seus limites estarem na região do Cariri Ocidental, onde a média pluviométrica permeia os 400 mm ao ano.

A partir de então, optou-se em realizar o cruzamento entre as variáveis de topografia (declividade e geomorfologia), e cobertura do solo, buscando distinguir áreas suscetíveis a erosão na bacia do alto curso do rio Taperoá-PB.

5.3 Nível semântico

5.3.1 Regras de correlação entre as variáveis

As regras de correlação entre as variáveis obedeceram sistematicamente a tipologia de Tricart (1977): áreas estáveis (1), *intergrades* (2) e fortemente instáveis (3).

Na morfoestrutura da área a maior presença de estruturas lineares, tais como: xistosidade e bandeamentos presentes nos complexos metamórficos mesoproterozóicos,

ligados as áreas pedimentares, atribuem maior fissibilidade aos estoques litológicos, o que permite em uma escala qualitativa atribuir-lhes o valor máximo de susceptibilidade morfodinâmica, ou seja, 3. Já os metagranitóides, por estarem em uma situação intermediária entre as estruturas maciças das rochas magmáticas plutônicas e as estruturas bandeadas dos complexos metamórficos, favorecem a atribuição de um peso 2 nas escala morfodinâmica. Em virtude de sua estruturação maciça e relativa baixa permeabilidade atribui-se valor 1 as rochas intrusivas neoproterozóicas. Em função do seu caráter inconsolidado e presença ativa da pedogênese nos horizontes superiores atribui-se valor 3 as coberturas sedimentares elúvio-coluviais e aluviais presentes na área.

A atribuição de valores aos mantos de intemperismo encontra-se correlacionada a espessura superficial do binômio isoterita-aloterita, além da espessura do manto de detritos, no caso do material remobilizado. Dessa forma, atribui-se valor mínimo 1, aos mantos pouco espessos, 2 aos intermediários e 3 aos mais espessos e extremamente incoesos.

A respeito da cobertura da terra a atribuição de valores obedeceu sistematicamente ao critério de fitoestabilidade. Obviamente as áreas de vegetação densa receberam peso 1, enquanto as parcelas com significativa presença de vegetação esparsa receberam o valor 2, e as áreas de solo exposto juntamente com a malha urbana apresentou peso 3 na escala morfodinâmica.

A função da cobertura vegetal na caracterização morfodinâmica das unidades da paisagem natural encontra-se diretamente ligada à sua capacidade de proteção. Assim, aos processos morfogenéticos relacionam-se as coberturas vegetais de densidade mais baixa, enquanto que os processos pedogenéticos ocorrem em situações onde a cobertura vegetal mais densa permite o desenvolvimento e maturação do solo (CREPANI et al., 1996).

5.4 Nível normativo

5.4.1 Obtenção do mapa morfodinâmico

Para obtenção do mapa morfodinâmico foi realizada uma operação de sobreposição entre polígonos, ou seja, um procedimento de interseção entre camadas.

Segundo Câmara et al., (2005), as operações desta natureza são de fundamental importância em trabalhos que utilizam o SIG como ferramenta, isto se justifica pelo fato de que, através da detecção e processamento da união e diferença de polígonos, podem-se realizar diversas operações de diferentes naturezas.

A sobreposição entre polígonos é uma operação topológica, onde as coordenadas dos nós, arcos e polígonos são armazenadas em tabelas que instruem o computador sobre o relacionamento destas entidades (ver em nível semântico), possibilitando a formulação de algoritmos empregados na resolução de diferentes problemas (Figura 20).

Essas são operações essenciais para análise espacial, bastante utilizada em situações onde é necessário combinar ou comparar dados existentes em diferentes camadas, a exemplo de mapas temáticos (CÂMARA et al., 2005).

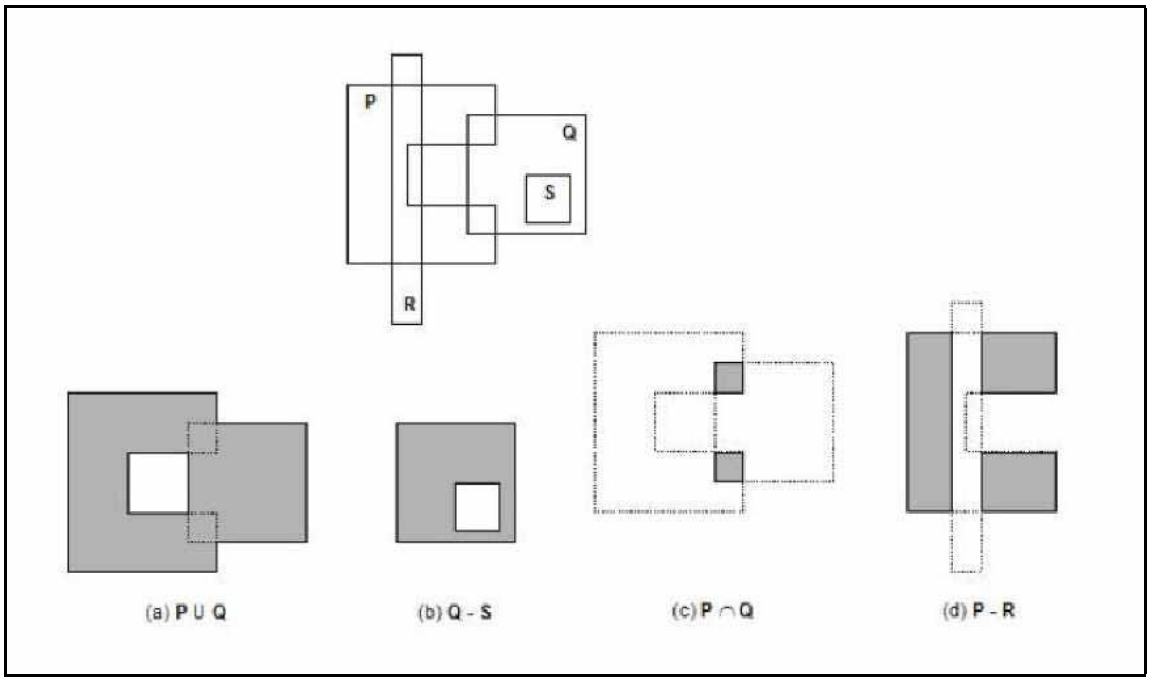


Figura 20 – Operações topológicas entre polígonos. Fonte: Câmara et. al, 2005.

A operação de interseção entre camadas seleciona áreas em comum entre ambas (entrada), que serão incluídas na formação de uma nova camada ou plano de informação (saída). O novo produto gerado apresentará o resultado da interseção entre as duas camadas de entrada (Figura 21).

Deste modo, a nova camada terá uma área existente resultante da interseção entre as duas camadas precedentes, além disso, todos os atributos pertencentes às camadas anteriores serão preservados, entretanto apresentando novos padrões de dados e agrupamentos. O banco de dados é espacialmente limitado pela área gerada na interseção entre as duas camadas selecionadas (SILVEIRA, 2006).

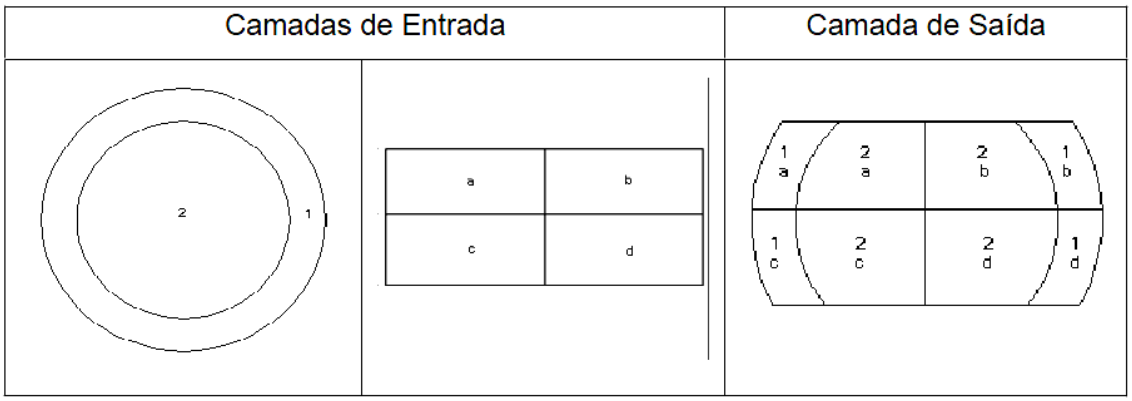


Figura 21 – Interseção entre duas camadas. Fonte: Silveira (2006).

A partir deste método é possível montar técnicas que possibilitem o estudo de um determinado evento ou fenômeno de forma bastante satisfatória, pois a interseção entre camadas possibilita o agrupamento sistemático de dados ambientais, a exemplo dos estudos tratando de morfodinâmica.

5.5 Trabalhos de campo

No decorrer da pesquisa foram realizados dois trabalhos de campo, entre os meses de julho de 2010 e fevereiro de 2011. Em ambos os trabalhos os objetivos foram: realizar um levantamento básico voltado para as feições erosivo/deposicionais, identificar os tipos de processos erosivos superficiais nos canais fluviais e nas encostas, validar as informações do mapeamento geomorfológico e de cobertura da terra; realizar o reconhecimento das principais formas de uso do solo.

A pesquisa de campo revelou-se bastante eficaz para a visualização e averiguação dos fenômenos, tendo em vista que o processo de degradação da paisagem só foi visualizado, em alguns casos, a partir da averiguação *in loco*. Também se mostrou de grande eficiência para o

reconhecimento e detalhamento das formas de uso do solo existentes na região, tendo em vista que, o mapeamento de cobertura da terra não permitiu a visualização das formas de uso.

Outra questão importante diz respeito à tomada de conhecimento da realidade local, das principais atividades econômicas desenvolvidas, onde e em que unidades morfológicas se desenvolvem, quais as principais manifestações de degradação ocorrentes e de que forma essa questão tem refletido na paisagem da bacia.

Desse modo, foram percorridos diversos pontos da área de estudo, onde foram coletadas informações acerca das características físico-naturais da paisagem, dando bastante ênfase e atenção às informações referente a uso do solo e a geomorfologia, enfatizando suas relações. Também foram selecionadas áreas de amostragem, conforme critério mencionado anteriormente, para a realização do reconhecimento mais detalhado das formas de uso do solo e que processos geomorfológicos têm ocorrido nessas localidades.

O reconhecimento detalhado dos processos morfodinâmicos em campo se revela como um procedimento de enorme importância para os estudos desta natureza, tendo em vista a possibilidade de detalhar quatro aspectos importantes: a estrutura superficial da paisagem, uso do solo, cobertura vegetal e processos superficiais.

Tradicionalmente estes procedimentos destinam-se à verificação *in loco* do comportamento peculiar dos sistemas geológicos, geomorfológicos e pedológicos, que não podem ser estimados apenas pela compilação de dados em escala regional baseada na revisão da literatura e nos mapeamentos de baixo grau de detalhe (SALOMÃO, 1999).

De acordo com Corrêa e Azambuja (2005), a importância da coleta de dados realizada em trabalho de campo é de grande relevância, uma vez que a maior parte dos dados disponíveis não se refere à operação dos sistemas da superfície terrestre e sua interação.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Dinâmica geomorfológica

A partir da confecção do mapa geomorfológico tornou-se possível distinguir as principais unidades morfoestruturais e morfoesculturais da paisagem, tendo em mãos um importante instrumento, capaz de subsidiar o entendimento dos processos morfodinâmicos decorrentes da apropriação do relevo pelo homem, haja vista, as atividades econômicas seguirem a tendência de proveito das áreas mais favoráveis do ponto vista geomorfológico.

Além disso, a confecção dos mapas clinográfico e hipsométrico auxiliaram substancialmente no entendimento da dinâmica geomorfológica da área em questão.

6.1.1 Compartimentação geomorfológica da paisagem

A área analisada encontra-se totalmente inserida sobre a unidade morfoestrutural do Planalto da Borborema, a partir da qual foram mapeadas as seguintes unidades morfoesculturais:

- *Cimeira*: corresponde ao nível mais elevado do relevo, que se encontra acima de 800 metros, desprovido de cobertura sedimentar e vegetação (SILVA, 2007).

- *Encostas sem cobertura coluvial*: são áreas bastante declivosas, sujeitas a um intenso processo erosivo, chegando a formar ravinas nas porções inconsolidadas do terreno (SILVA, 2007).

- *Encosta estruturada em rampa de colúvio*: são pontos de declividade característica de uma encosta onde existe a acumulação de sedimentos em virtude do transporte gravitacional (CORRÊA, 2001).

- *Encosta de recuo de falha*: são encostas com acentuada declividade, resultante de um processo de basculamento entre duas falhas normais. No caso específico da área de

estudo, este soerguimento está associado à evolução e dinâmica tectônica das Suítes Graníticas do Complexo Cariris Velhos (BRASIL, 2002).

- *Encosta estruturada em avental de colúvio*: é uma encosta suavizada por uma rampa de colúvio geralmente situada em zonas de meia encosta.

- *Pedimentos com cobertura detrítica*: são áreas aproximadamente planas para onde os sedimentos são carreados das partes mais elevadas do relevo até esta superfície. Após a deposição deste material, que possui estrutura semelhante a um leque, o processo denudacional transporta grande parte deste material para as planícies aluviais, onde se encaixarão as drenagens. Após este processo, restam nas superfícies de pedimento grandes extensões de pavimentos detríticos. Após um novo episódio de deposição sedimentar, este pavimento pode ser soterrado guardando um importante registro geológico, que pode posteriormente ser utilizado na compreensão da evolução da paisagem (GUERRA, 1997).

- *Maciço residual em crista*: são restos de antigas superfícies ou pediplanos geralmente relacionados com as rochas de litologia mais resistente (GUERRA, 1997). Seu aspecto em crista segue a tendência geral das direções preferenciais das linhas de falha.

- *Inselbergs*: são elevações residuais provenientes do processo de pediplanação em climas áridos e semi-áridos (GUERRA, 1997). Em geral sua morfologia apresenta-se bastante individualizada do ponto de vista altimétricos em relação ás demais porções circunvizinhas do terreno.

- *Plaino aluvial*: são superfícies planas encaixadas nos vales por onde passam grande quantidade de sedimentos, por hora, depositados em barras fluviais compostas por grandes quantidades de areia grossa e grânulos (SILVA, 2007). Este compartimento geomorfológico pode ser subdividido em dois sub-compartimentos: os terraços erosivos e o próprio leito fluvial, onde se instalam as drenagens. Os terraços fluviais testemunham antigos níveis do leito, podendo ser de origem deposicional ou erosiva (GUERRA, 1997).

Do ponto de vista morfoestrutural, a área tem suas formas hierarquizadas a partir da distribuição litológica e das estruturas deformacionais a elas associadas. Em linhas gerais, as áreas deprimidas pedimentadas associam-se a ocorrência dos complexos metamórficos; as cimeiras planálticas, no entanto, são sustentadas por suítes intrusivas neoproterozóicas de diversas afinidades químicas. Em uma escala de detalhe os maciços residuais do tipo inselberg aparecem comumente estruturados em metagranitóides cuja meteorização resulta em relevos em forma de cristas. Estas por sua vez, são nitidamente controladas pelas zonas de cisalhamento mesoproterozóicas às quais esses litotipos encontram-se confinados.

Quanto às escarpas, observa-se que aquelas que separam os pedimentos da cimeira planáltica coincidem em diversos graus de recuo com as falhas delimitantes dos corpos intrusivos neoproterozóicos.

Algumas, porém, demonstram sinais evidentes de rejuvenescimento, ao estilo da tectônica ressurgente, que ao longo do cenozóico retoma esforços deformacionais por meio de antigas zonas de fraqueza herdadas do Pré-Cambriano. É notável a pouca incisão da drenagem em alguma dessas encostas permitindo a observação *in situ* de feições neotectônicas do tipo facetas triangulares e drenagem em gargalo, assim atestando a retomada erosiva pós-deformação provavelmente na vigência do próprio quaternário.

6.1.2 Aspectos do mapa hipsométrico e clinográfico

Os mapas de hipsometria e declividade revelaram importantes informações acerca dos aspectos geomorfológicos e tectônicos da área. Para reforçar a visualização destes aspectos foram traçados perfis topográficos em pontos específicos da bacia.

A priori nota-se uma clara distinção entre dois níveis morfológicos na área de estudo, primeiramente a porção sul, apresentando altitudes entre 500 e 700 metros e a porção norte, com altitudes entre 700 e 900 metros.

Esta ruptura de declive encontra-se associada a um extenso fotolineamento do relevo, elaborado a partir de um desnível entre superfícies, causada por movimentação tectônica de rochas Neoproterozóicas em zona falhada.

Esta zona é delimitada pela *linha sienitóide*, que compreende um acidente de tectônica rígida de natureza cisalhante e/ou contracional, limitando dois importantes compartimentos geotectônicos: FPB e TAP (BRASIL, 2002) (Figura 22).

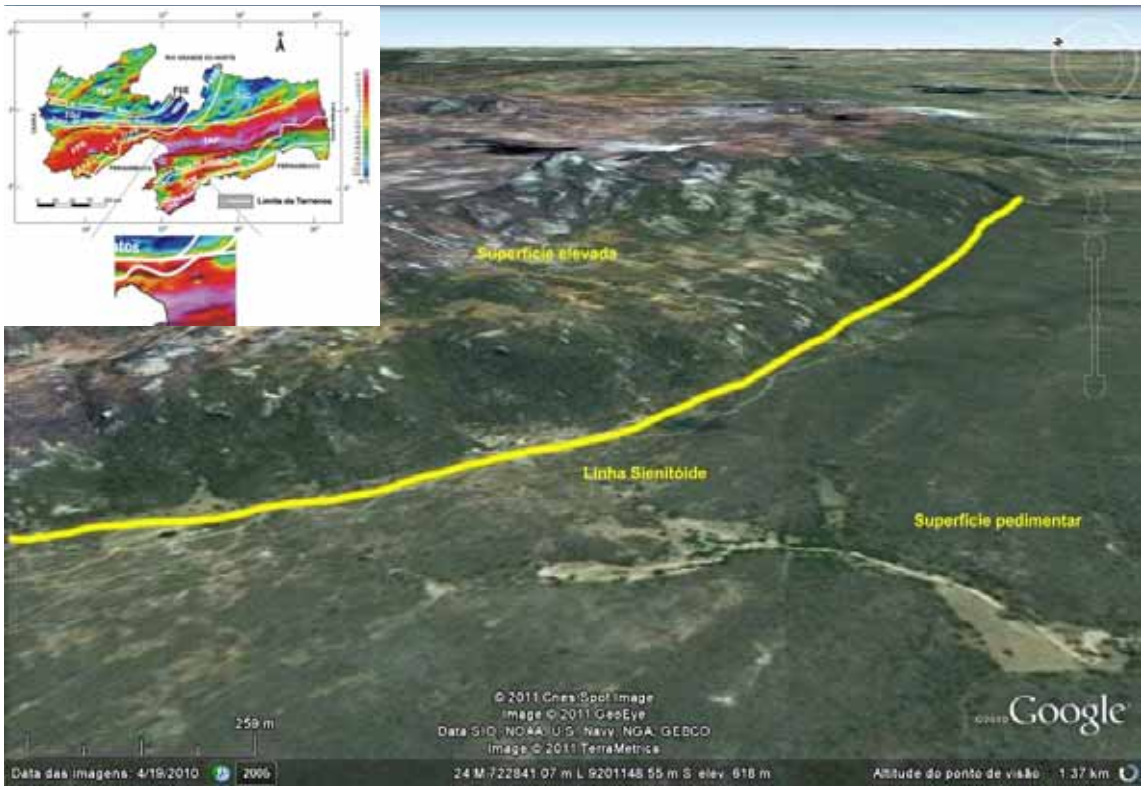


Figura 22 – Mapa da divisão tectono-estratigráfica da Paraíba e imagem de satélite representando o desnível entre superfícies, causada por movimentação tectônica, com destaque para *linha sienitóide*. Fonte: Google Earth 6.0.

Na opinião de Santos (1995), os dois compartimentos citados fazem parte de um vasto sistema anastomosado formado por lineamentos e zonas de cisalhamento transcorrentes, proveniente de orógenos derrocados por uma considerável dispersão pós-colisional. Porquanto, o plutonismo granítico brasiliano afetou todos os segmentos domínios e terrenos.

Observa-se na porção noroeste da bacia sinais de forte controle tectônico evidenciado pela brusca inflexão de drenagens associada à existência de uma expressiva garganta de superimposição de drenagens (Figura 23).

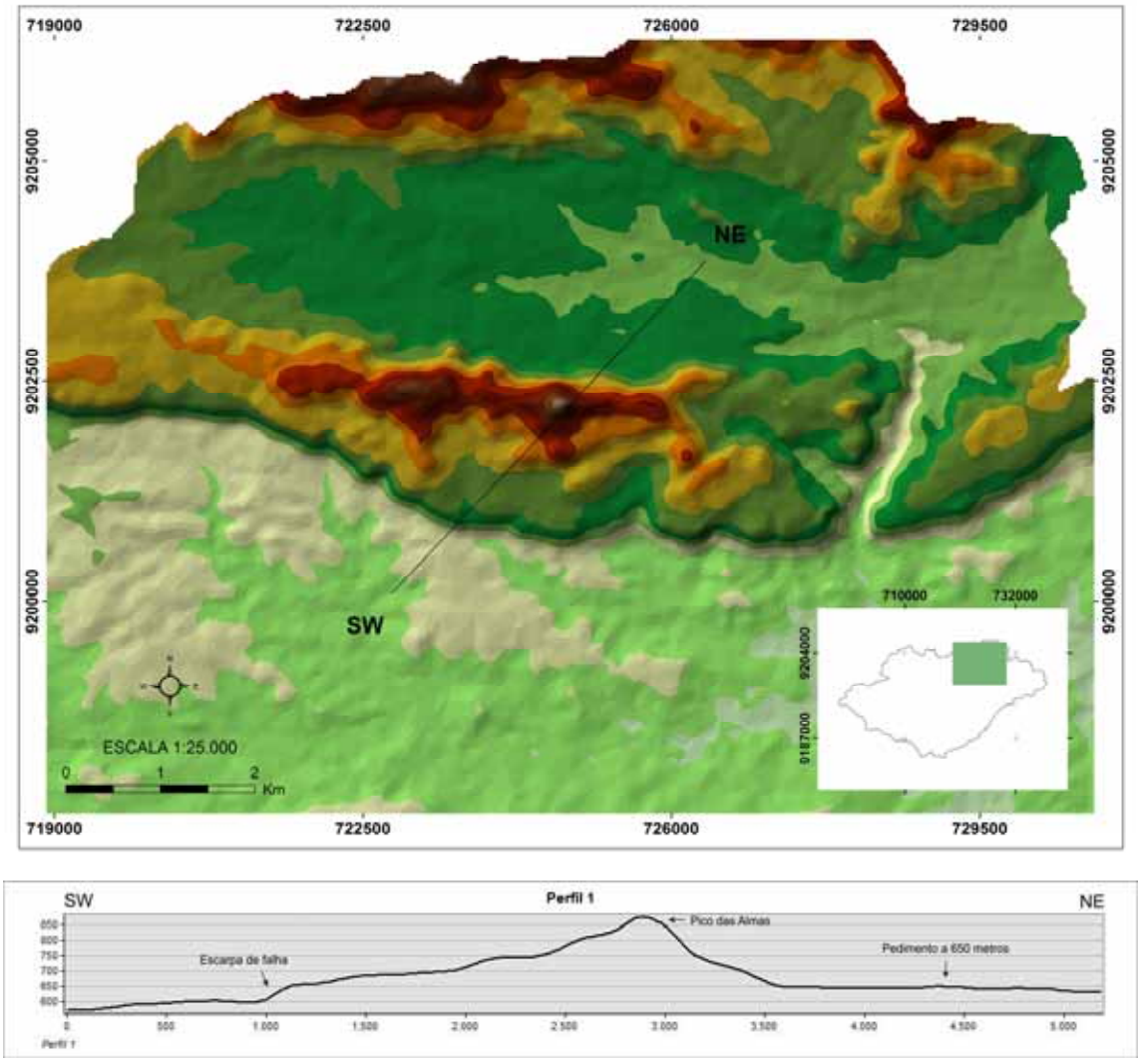


Figura 23 – Perfil 1 representando a transição entre a superfície pedimentar (600m), escarpa de recuo de falha e as áreas bastante elevadas (850m).

Nesta área encontra-se localizada uma importante elevação denominada de Serra das Almas, onde se observa um considerável cinturão granítico seguindo a direção preferencial das zonas de falha, apresentando extensas rampas de colúvio em seu sopé e uma extensa superfície pedimentar a 650 metros aproximadamente, amplamente aproveitados para agricultura, conforme nota-se a disposição e delimitação das áreas agrícolas (Figura 24).

Figura 24 – Visão do maciço residual “Serra das Almas”, município de Taperoá-PB. Foto: o autor.

Do ponto de vista morfodinâmico estas áreas são importantes, pois são classificadas como áreas fortemente instáveis. Isto implica em dizer que a forte declividade atrelada à baixa ação do intemperismo químico não favorecerem a pedogênese, deixando os topos e as regiões fortemente inclinadas desprovidas de cobertura vegetal.

De acordo com o mapa clinográfico, esta área pode ser classificada como uma zona de forte declividade (> 45%) escarpada ou montanhosa, apresentando naturalmente fortes sinais de instabilidade morfodinâmica, pela ausência de formação do manto de intemperismo e conseguintemente desprovidas de cobertura vegetal.

Na porção sul da bacia observa-se uma extensa superfície pedimentar entre 550 e 650 metros, chegando a uma área limitada por encostas com altitude entorno de 700 metros (Figura 25).

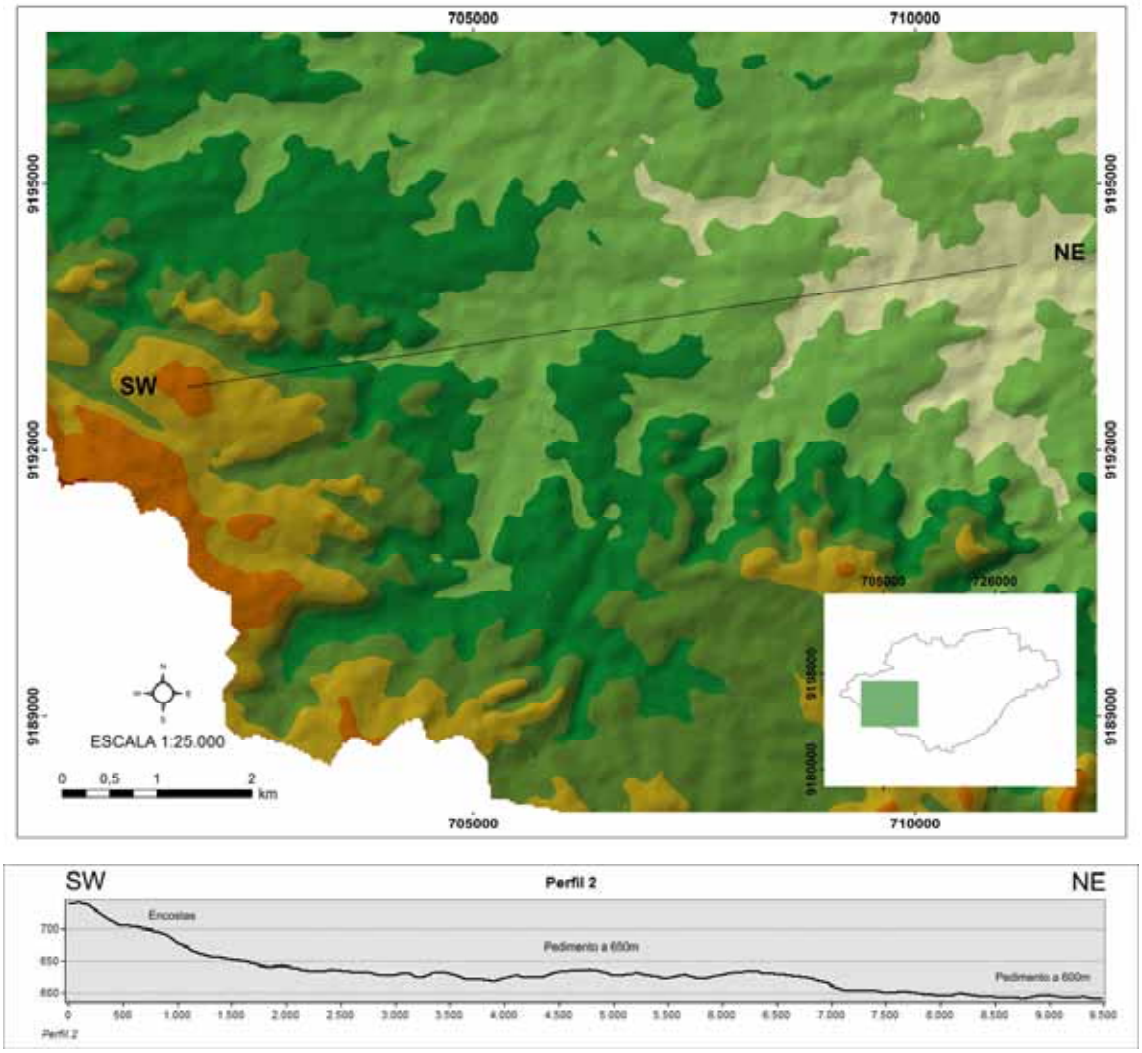


Figura 25 – Perfil 2 representando a porção sul da bacia do alto Taperoá, com destaque para os alinhamentos e para dissecação das encostas.

A disposição das zonas falhadas, seguindo a direção preferencial SW-NE, confere a bacia do alto curso do rio Taperoá uma significativa extensão longitudinal, onde se destacam um conjunto de maciços e inselbergs alinhados em crista, além de encostas bastante dissecadas.

A gênese dos maciços residuais e inselbergs nessa área encontra-se amplamente associada à litologia das rochas que compõem o substrato. Verifica-se que o grupo dos Metagranitóides, formam a litologia dos maciços, enquanto a superfície rebaixada é representada pelas rochas metassedimentares do Complexo São Caetano, dando origem a uma evidente erosão diferencial. Ainda verifica-se que a disposição das áreas compostas pelos conjuntos graníticos metamórficos seguem a mesma direção das linhas preferenciais de

falhas, assim como se verifica a disposição dos maciços em crista através do mapa hipsométrico (Figura 26).

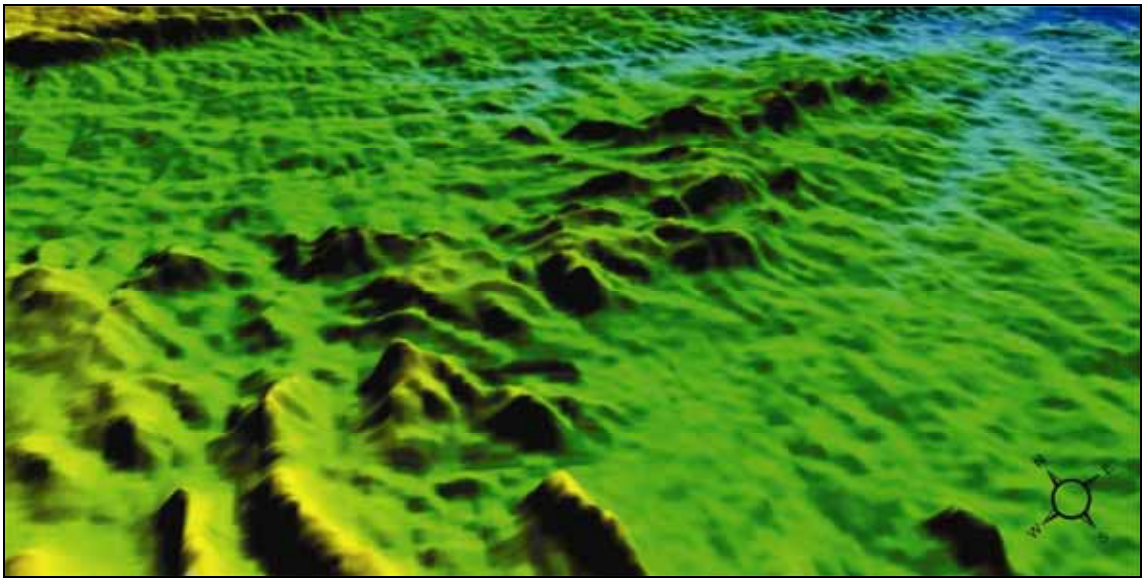


Figura 26 – Maciço residual em crista seguindo a direção preferencial das linhas de falhas do terreno. Fonte: SRTM.

A declividade predominante nestas áreas ocorre entre 13 e 20%, chegando a alcançar 45% nas áreas mais elevadas do terreno, caracterizando uma área de ondulada à fortemente ondulada.

6.2 Dinâmica de uso e ocupação do solo

Conforme verifica-se no mapa de cobertura do solo, as áreas com ocorrência de solo exposto estão associadas as margens fluviais onde, naturalmente, a fertilidade potencial do solo proporciona condições para a expansão das atividades agrícolas.

Esta distribuição obedece sistematicamente às unidades do relevo, onde as principais culturas se distribuem regra geral, nas várzeas onde são encontradas culturas comerciais e de subsistência como o feijão, milho, palma e algodão, e nas áreas pedimentares onde ocorre o capim penhasco, jurema, catingueira e marmeleira, onde são encontrados fortes sinais de degradação da paisagem.

A Caatinga mais preservada distribui-se ao longo das porções mais elevadas do relevo, a aproximadamente 550 metros de altitude, revelando encostas bastante preservadas do ponto de vista do equilíbrio morfodinâmico (Figura 27).

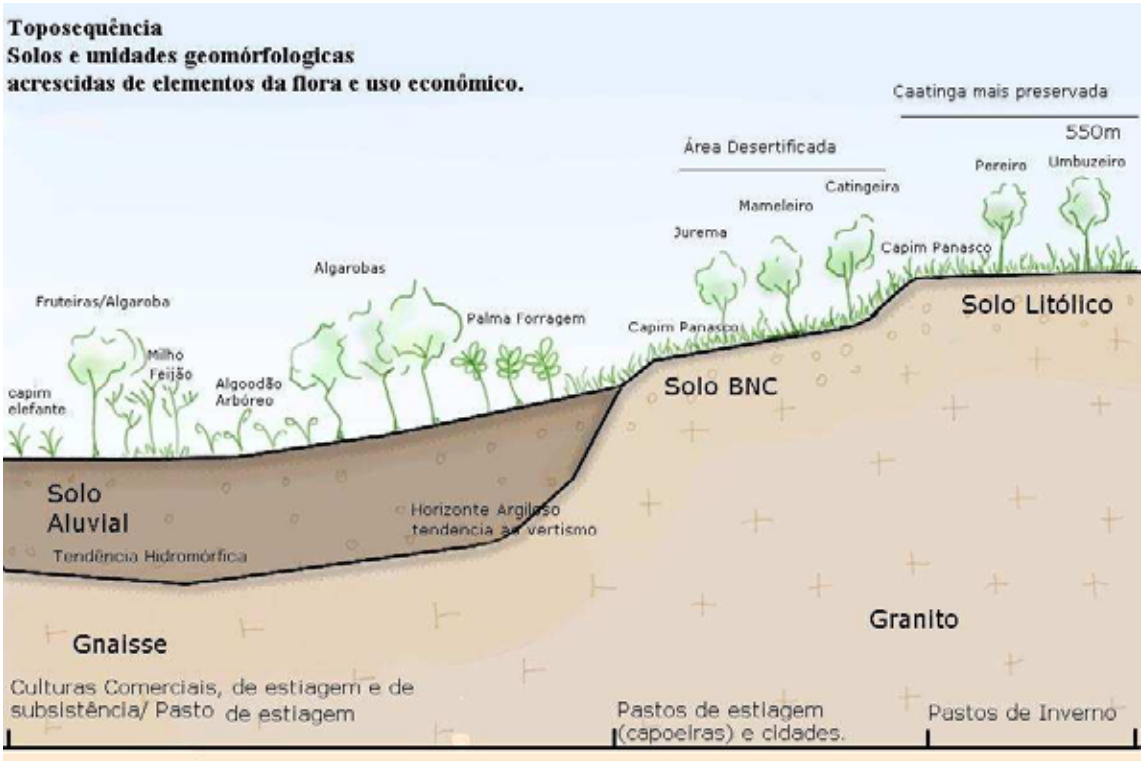


Figura 27 - Toposequência dos solos e unidades geomorfológicas acrescidas de elementos da flora e uso do solo. Fonte: Souza (2008).

Conforme observou-se no trabalho de campo, o processo de degradação da paisagem tem se estendido amplamente nas porções das margens fluviais, com fortes sinais de erosão e salinização (Figura 28).

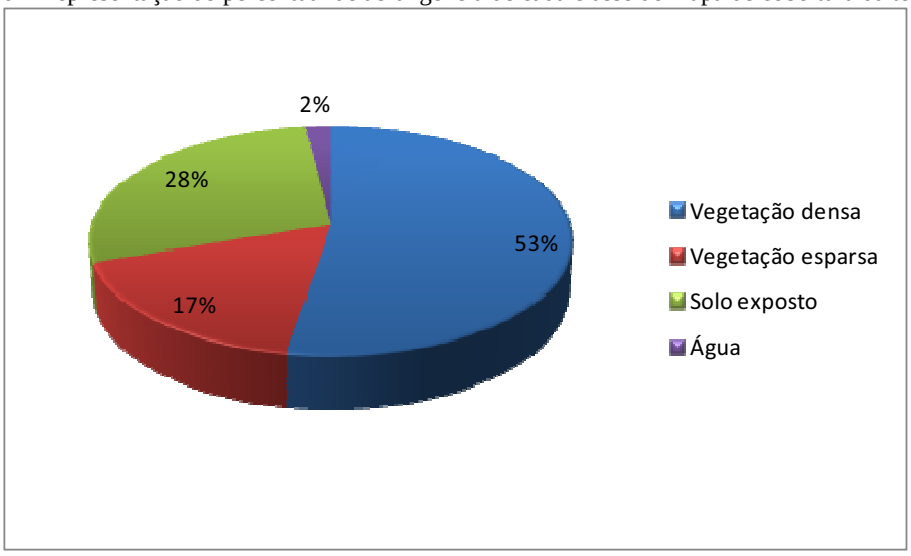
Um das causas da erosão nas planícies fluviais não se encontra diretamente relacionada às atividades que se desenvolvem *in situ*, mas, a expansão da agropecuária para as porções pedimentares, onde o desgaste do solo provoca a erosão e por sua vez a remobilização de material para as calhas fluviais, passando a alterar o nível de base dos rios que passam a erodir suas margens. Portanto, este tem se constituído como um dos principais problemas incidentes nesta área. (Figuras 29).

Figura 28 - Crosta salina formada às margens do rio Taperoá na área da barragem do açude Taperoá II. Foto: o autor.

Figura 29 – Rio erodindo as margens do seu canal e expondo o embasamento rochoso. Riacho dos porcos, município de Desterro-PB. Foto: o autor.

De acordo com o mapa de cobertura do solo, mais de 50% da área de estudo encontra-se recoberta por vegetação densa, enquanto 17% apresentam um tipo de cobertura vegetal mais esparsa e 28% de solo exposto. De modo geral, observa-se que a grande parcela de vegetação esparsa e de solo exposto ocupam as várzeas e algumas porções do pedimento, onde encontram-se grande parcela do processo de degradação da paisagem, conforme demonstra a toposequência apresentada anteriormente. Doutro modo, a grande parcela preservada da vegetação ou vegetação densa, encontra-se relacionada às áreas de encostas preservadas e topos de baixas elevações (Gráfico 6).

Gráfico 6 – Representação do percentual de abrangência de cada classe do mapa de cobertura da terra.



Fonte: Saulo Roberto de Oliveira Vital (2011).

Portanto, subtende-se que o intenso desempenho das atividades agrícolas tradicionais e o acentuado desenvolvimento da pecuária extensiva amplamente representada pela caprinocultura, são os principais responsáveis pela degradação da paisagem na área de estudo. O processo de urbanização, ainda bastante incipiente, não é representativo no tocante aos principais fatores responsáveis pela degradação ambiental nesta bacia.

Desse modo, percebe-se que o uso inadequado do solo tem gerado amplas áreas com significativa parcela de solo exposto, o que aliado as atividades de pecuárias extensiva, pode gerar a compactação e impermeabilização do solo, culminando no aparecimento de feições erosivas lineares a exemplo de sulcos e ravinas, podendo evoluir até para voçorocas, o que representa um quadro atípico do ambiente semi-árido, onde o fluxo laminar impera.

Este processo atípico pode gerar a potencialização da produção de sedimentos que são carreados para as regiões mais rebaixadas do terreno nos reservatórios naturais e artificiais. No entanto, a medição destes índices foge do escopo deste trabalho.

6.3 Quadro morfodinâmico

A princípio optou-se pelo cruzamento entre as informações de declividade e geomorfologia juntamente com a cobertura da terra, gerando um produto que represente a morfodinâmica na bacia do alto curso do rio Taperoá-PB.

Vale ressaltar que a metodologia proposta por Tricart (1977) não prevê o estabelecimento de regras para o processamento de informações espaciais em ambiente SIG. Por isso, a representação da escala morfodinâmica através do geoprocessamento ainda se constitui como um desafio. Poucos trabalhos foram realizados tratando diretamente desta temática e baseando-se fielmente na escala de Tricart, conforme mencionado na revisão bibliográfica desta pesquisa.

Conforme o mapa morfodinâmico (anexo IV), observa-se que as áreas avermelhadas, representando a classe fortemente instável, encontra-se em sua maioria relacionada às regiões de cimeira, onde a exposição da rocha nua com forte declividade não permite o desenvolvimento da pedogênese, além da vasta ocorrência nas regiões do plaino aluvial onde as atividades agrícolas tradicionais têm gerado uma expressiva degradação da paisagem. Ocorrências esparsas de forte instabilidade também acompanham as regiões pedimentares e as encostas estruturadas em avental de colúvio, conforme verifica-se no setor sudoeste da bacia.

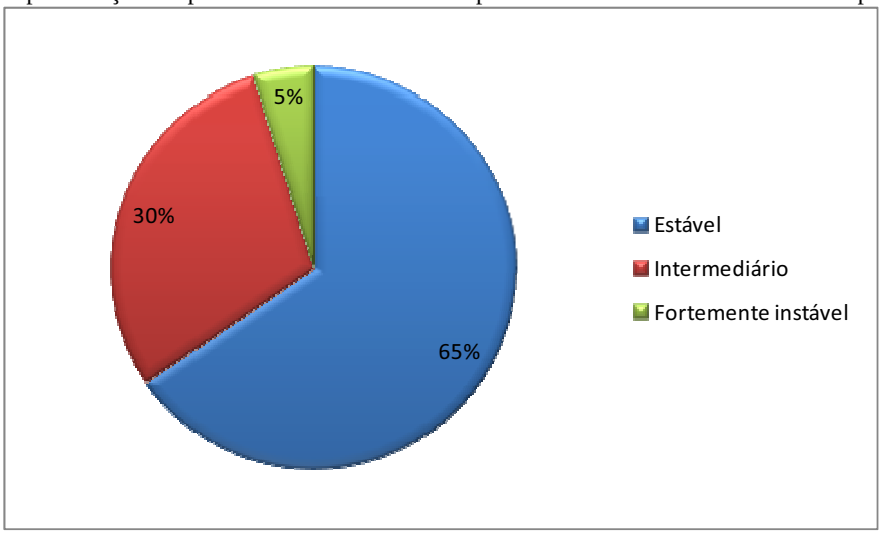
De modo geral, notou-se que a distribuição das atividades econômicas segue a tendência costumeira de ocupar determinadas parcelas do relevo, neste caso as margens fluviais. Esta questão revela uma ampla relação entre a própria tectônica da bacia e a instalação das atividades econômicas. Observa-se no mapa de cobertura do solo que a linhas de falhas condicionam exatamente a disposição geral das áreas de solo exposto, o que revela uma ampla relação entre tectônica, cursos fluviais e uso do solo. Essa distribuição gerou em

média 5% de áreas vulneráveis a erosão, conforme se verifica no mapa de instabilidade morfodinâmica.

Uma vez que, sendo classificada como uma porção fortemente instável torna-se bastante difícil a recuperação destas áreas, tendo em vista que, a formação de áreas desta natureza, sob o ponto de vista morfodinâmico, pressupõe a ultrapassagem do limiar de recuperação.

Do mesmo modo, os 30% de áreas intermediárias incutem a necessidade urgente de medidas preventivas e corretivas relacionadas ao desenvolvimento das atividades econômicas típicas da região, a exemplo da caprinocultura extensiva e da agricultura baseada em técnicas tradicionais. A partir de então, subtende-se que a grande parcela estável não pode motivar a um quadro de despreocupação, tendo em vista que o atual avanço desordenado das atividades agrícolas, sem que haja uma gestão ambiental adequada, pode provocar o aumento das parcelas degradas a longo prazo. Do mesmo modo, também se entende que a parcela de áreas intergrades representa uma tendência potencial de degradação para esta bacia (Gráfico 7).

Gráfico 7 – Representação em percentual das classes do mapa morfodinâmico da bacia do alto Taperoá-PB.



Fonte: Saulo Roberto de Oliveira Vital (2011).

Mesmo diante deste quadro, em geral, observou-se que a área de estudo encontra-se relativamente preservada sob o ponto de vista da ocorrência em massa de áreas instáveis, contendo feições erosivas do tipo ravinas ou voçorocas. Subtende-se que este é um quadro típico das regiões semi-áridas, onde o fluxo laminar é substancialmente predominante. No

entanto, a medição destes índices demanda uma escala de tempo maior. Como dito anteriormente, isto não revela uma situação que favoreça a desatenção, uma vez que o diagnóstico ambiental precoce se revela como um poderoso instrumento para o planejamento ambiental, capaz de subsidiar os órgãos públicos competentes pela gestão destas áreas.

Sabe-se, portanto, que embora 65% da bacia esteja relativamente preservada sob o ponto de vista morfodinâmico, a existência de outros 35% de áreas divididas entre fortemente instáveis e intergrades pressupõem áreas com risco de erosão, tendo como grande conseqüência o desgaste do solo e o aumento da produção de sedimentos, a medida que o material remobilizado as encostas gera inevitavelmente a colmatação dos vales fluviais. Além disso, o aparecimento de feições erosivas lineares surge como conseqüência da compactação do solo em virtude da pecuária extensiva, ou tão somente atrelada as margens dos canais fluviais, onde foram encontrados sinais de erosão linear (Figura 30).

Figura 30 – Sinais de erosão linear em um canal fluvial na altura do município de Taperoá-PB. Foto: o autor.

De modo geral, entende-se que os fatores apresentados são os principais responsáveis pela formação de áreas fortemente instáveis na paisagem da bacia do alto curso do rio Taperoá-PB.

7 CONCLUSÃO

O planejamento ambiental de bacias hidrográficas através da Geomorfologia como ciência base e utilizando-se do geoprocessamento como ferramenta, têm-se tornado uma tendência cada vez mais viável no tocante a viabilidade econômica e de tempo. Por isso, o domínio destas ferramentas por parte do profissional geógrafo tem sido cada vez mais essencial para contribuir com a sociedade.

Uma tentativa de mapear áreas degradadas com risco de erosão se desenvolveu nesta pesquisa. Embora não se esgote todas as análises suficientes para o reconhecimento minucioso das causas deste processo, entende-se que a utilização dos SIGs como ferramentas para esta análise necessita de um maior grau de atenção e esforço em torno de sua aplicação por parte dos pesquisadores geógrafos. Por outro lado, subtende-se que a pesquisa de campo não é dispensada em nenhuma hipótese.

A partir desta nova tendência da Geografia Física amplamente pautada nas ferramentas geoespaciais, e no desafio de representar áreas propensas à erosão nesta bacia utilizando-se da escala morfodinâmica de Tricart (1977) é possível retirar conclusões importantes sobre esta área.

Primeiramente, observa-se que a bacia do alto Taperoá-PB, até mesmo por seu próprio nome, localiza-se em uma das áreas mais elevadas do Planalto da Borborema, sendo esta importante morfoestrutura que cruza grande parte do nordeste brasileiro. A existência de amplas evidências de processos tectônicos, capazes de gerar extensas zonas falhadas é uma característica intrínseca desta bacia, que não se desliga jamais dos fatores de ordem morfodinâmica. Sabe-se, portanto, que grande parte das áreas fortemente instáveis desta bacia encontram-se atreladas a estes ramos com fortes sinais de tectônica ressurgente, capazes de gerar amplas zonas de altitudes através de falhas normais.

Sabe-se também que a dinâmica de ocupação do solo nesta bacia segue regra geral, as áreas favoráveis do ponto de vista geomorfológico, evidentemente que esta é uma tendência que ocorre em diversos pontos da superfície terrestre. Ao longo de toda a história da humanidade, as grandes civilizações sempre se desenvolveram às margens de importantes

rios. Na bacia do alto Taperoá ocorre uma tendência importante sobre este ponto de vista. A ocupação das áreas férteis correspondentes aos leitos fluviais, amplamente representada como setores instáveis através do mapa morfodinâmico, já se encontram sobre forte nível de degradação, dando vez para a ocupação de outras parcelas do relevo. Este processo tem possivelmente provocado a remobilização de material sedimentar para as calhas fluviais, alterando significantemente o nível de base das drenagens na área em questão. No entanto, foge do escopo desta pesquisa, a tentativa de medição do nível de sedimentação atual nos reservatórios naturais e artificiais desta bacia.

O processo de colmatação dos vales é evidenciado a partir da constante erosão nas margens dos canais, onde, em ambiente semi-árido, o embasamento rochoso torna-se facilmente exposto em virtude da baixa espessura dos solos.

Esta situação revela um quadro de ampla instabilidade morfodinâmica, ao passo que a morfogênese mostra-se significantemente acelerada nestas parcelas do relevo.

Outros problemas além da possível elevação da produção de sedimentos também podem ser enumerados, um deles diz respeito ao aparecimento de feições erosivas lineares (sulcos e ravinas) cada vez mais constantes em algumas porções da área de estudo, uma vez que, anteriormente o fluxo laminar era o grande responsável pela acelerada erosão e produção de sedimentos. Sabe-se, que uma das possíveis causas deste fenômeno encontra-se ligada ao desenvolvimento descontrolado da pecuária extensiva, representada em grande parte pela caprinocultura, não só na área de estudo, mas em todo o cariri paraibano e em outras áreas do nordeste brasileiro. O constante pisoteio dos animais gera a compactação do solo, inviabilizando a ação do componente perpendicular (infiltração), conseqüentemente, esta situação gera a reativação da morfogênese nestas áreas, gerando amplas feições erosivas.

Portanto, levando em consideração este quadro, buscou-se representar através de um mapa morfodinâmico as áreas fortemente instáveis, intergrades e estáveis ao longo da bacia do alto Taperoá-PB. Através deste produto e das observações realizadas em campo, notou-se que a distribuição das áreas instáveis (representando o total de 5%), encontram-se fortemente atreladas às porções do plaino aluvial, com ocorrências esparsas nas áreas de cimeira evidentemente, e no pedimento rochoso, geralmente nas áreas de sopé.

As áreas intergrades encontram-se em sua grande maioria relacionadas às zonas de solo exposto, pois provavelmente ainda não ultrapassaram o limiar de recuperação. Sabe-se então que esta é uma situação de alerta, ao passo que, a insistência no uso desordenado destas áreas pode tornar estas áreas fortemente instáveis, sabendo que as áreas intermediárias simbolizam uma tendência geral de recuperação ou degradação.

Por fim, percebe-se através do mapa morfodinâmico, que mais de 50% da bacia encontra-se em estado de estabilidade. Através das observações em campo, foi possível notar que as grandes zonas fitoestáveis encontram-se sobre as encostas conservadas do ponto de vista ecodinâmico, pois no período úmido a vegetação se impõe na paisagem da bacia.

Conclui-se, portanto, que o mapa morfodinâmico constitui-se como poderoso instrumento para o planejamento ambiental não só desta bacia, mas de outras, sabendo da importância atual do planejamento e ordenamento do território.

REFERÊNCIAS

AB'SÁBER, A. **Participação das Superfícies Aplainadas nas Paisagens do Nordeste Brasileiro**. Geomorfologia, 19. IGUSP, São Paulo, 1969.

AB'SÁBER, A. **Os domínios de natureza no Brasil**. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003.

ALBUQUERQUE, A. W.; NETO, F. L.; SRINIVASAN, V. S.; SANTOS, J. R. Manejo da cobertura do solo e de práticas conservacionistas nas perdas de solo e água em Sumé, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 6, n. 1, p. 136-141, 2002.

ALMEIDA, F. F. M.; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B. B.; FUCK, H. Províncias estruturais brasileiras. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 8., 1977, Campina Grande. **Anais**... SBG, 1977.

ANDREOLI, R. V. KAYANO, M. T. A importância do Atlântico Tropical Sul e Pacífico Leste na variabilidade de precipitação do Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 22, n. 1, p. 63-74, 2007.

ARAÚJO, L. E.; MORAES NETO, K. M.; SOUSA, F. A. S. Classificação da precipitação anual e da quadra chuvosa da bacia do rio Paraíba utilizando de Anomalia de Chuva (IAC). **Revista Ambiente e Água,** Taubaté, v. 4, n. 3, p. 93-110, 2009.

AZAMBUJA, R. **Análise geomorfológica em áreas de expansão urbana do município de Garanhuns-PE**. 2007. 154f. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Ciências Geográficas, UFPE, Recife, 2007.

AZAMBUJA, R. N.; LIMA, E. M.; CORRÊA, A. C. B. Análise de eventos climáticos cíclicos em uma micro-bacia do semi-árido nordestino e sua repercussão no balanço de erosão e sedimentação de canais efêmeros. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 13., 2009. **Anais**... Viçosa: UFV, 2009.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, 1993.

BERTRAND, G. Paisagem e Geografia Física Global. Esboço Metodológico. Tradução: Olga Cruz. **Revista RA'EGA**, n. 8, p. 141-152, 2004.

BOTELHO, R. G. M. Planejamento ambiental em microbacia hidrográfica. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M (Org.). **Erosão e conservação dos solos: conceito, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p.269-293, 1999.

BRANDÃO, M. H. M. **Índice de Degradação Ambiental na bacia hidrográfica do Rio do Peixe - PB**. 2005. 133f. Tese (Doutorado) – Departamento de Geologia, UFPE, Recife, 2005.

BRASIL. Ministério da Agricultura. **Programa Nacional de Microbacias Hidrográficas**. Manual Operativo. Brasília, DF, Coordenação nacional do PNMH, Ministério da Agricultura, 1987.

BRASIL. Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste. **Mapa Exploratório – Reconhecimento de Solos do Estado da Paraíba**. 1:500.000. Recife, 1971.

BRASIL. Ministério da Agricultura. EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação dos solos**. Rio de Janeiro, 1999.

BRASIL. Ministério da Agricultura. EMBRAPA. **Zoneamento Agroecológico do Nordeste**. Rio de Janeiro, 2007.

BRASIL. Ministério da Agricultura. EMBRAPA. **As paisagens e o processo de degradação do semi-árido nordestino**. Rio de Janeiro, S/DATA.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. CPRM. **Geologia e recursos minerais do Estado da Paraíba**. Recife: CPRM, 2002. 142p. Il. 2 mapas. Escala 1:500.000.

CAMARA, G. **Geoprocessamento: teorias e aplicações**. INPE, 2005. Disponível em: http://www.dpi.inpe.br/livro. Acesso em: 25 jan 2011.

CAMARA, G.; CASA NOVA, M. A.; DAVIS JUNIO, C.; VINHAS, L.; QUEIROZ, G.; **Bancos de Dados Geográficos**, Curitiba, Editora MundoGEO, 2005.

CAMARGO, M. N.; KLAMT, E.; KAUFFMAN, J. H. Classificação de solos usada em levantamentos pedológicos no Brasil. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira do Solo**, Campinas, v. 12, n. 1, p. 11-33, 1987.

CARVALHO, M. G. D. F. **Estado da Paraíba: classificação geomorfológica**. João Pessoa: Editora da UFPB, 1982.

CASSETI, V. **Ambiente e apropriação do relevo**. São Paulo: Editora Contexto, 1991.

CASTRO, J. F. M. Mapa morfodinâmico: uma abordagem metodológica de uso de sistema de informação geográfica (SIG). **Revista de Geociências**, São Paulo, v. 17, n. 1, p. 161-185, 1998.

CAVALCANTE, F. S.; DANTAS, J. S.; SANTOS, D.; CAMPOS, M. C. C. Considerações sobre a utilização dos principais solos no Estado da Paraíba. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**. n. 8, p. 1-10, 2005.

CECÍLIO, R. A.; REIS, E. F. **Apostila didática: manejo de bacias hidrográficas.** Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia Rural, 2006.

CHORLEY, R. J. Geomorphology and general systems theory. **U. S. Geology Survey**. Prof. Paper (500-B), p. 1-10, 1962.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo: Edgard Blucher, 1999.

CHRISTOFOLETTI, A. Aplicabilidade do Conhecimento Geomorfológico nos Projetos de Planejamento. In: GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S. B. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 415-437, 2007.

CORRÊA, A. C. B. **Dinâmica geomorfológica dos compartimentos elevados do Planalto da Borborema, Nordeste do Brasil**. 2001. 386f. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, Rio Claro, 2001.

CORRÊA, A. C. B.; AZAMBUJA, R. N. Avaliação qualitativa em micro-escala da estabilidade da paisagem em áreas sujeitas à desertificação no ambiente semi-árido do Nordeste do Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 11., 2005. **Anais**... São Paulo: USP, p. 5839-5847, 2005.

COELHO, A. L. M. Uso de dados SRTM como ferramenta de apoio ao mapeamento geomorfológico de bacia de médio-grande porte. **Revista Geografia Acadêmica**, v. 2, n. 2p., 138-153, 2008.

CORRÊA, A. C. B.; SOUZA, J. O. P.; CAVALCANTI, L. C. S. Solos do ambiente semi-árido brasileiro: erosão e degradação a partir de uma perspectiva geomorfológica. **Artigo inédito**. 2011.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; AZEVEDO, L. G.; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V. **Curso de Sensoriamento Remoto aplicado ao Zoneamento Econômico-Ecológico**. São José dos Campos: INPE, 1996.

CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. Degradação Ambiental. In: GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S. B. (Org.). **Geomorfologia e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 337-379, 1996.

DUARTE, S. M. A.; BARBOSA, M. P.; NETO, J. M. M. Avaliação das classes da cobertura vegetal no município de Taperoá, Estado da Paraíba. **Revista Engenharia Ambiental,** v. 8, n. 2, p. 330-341, 2009.

FAUSTINO, J. **Planificación y gestión de manejo de cuencas**. Turrialba: CATIE, 1996.

FERREIRA, B. A região semi-árida nordestina: utilização dos dados SRTM para mapeamento geomorfológico de parte dos municípios de Jatobá Petrolândia e Tacaratu, Sub-Médio São Francisco, PE. **Revista Ciência e Natura**, UFSM, n. 32, p. 143 – 158, 2010.

GALVINCIO, J. D.; DANTAS, L. G.; FERNANDES, J. G. Sistemas que favorecem ocorrência de chuva em região semi-árida no Nordeste do Brasil: estudo de caso em São José do Sabugí-PB. **Revista de Geografia**, Recife, v. 27, n. 1, p. 202-217, 2010.

GASTÃO, F. G. C.; MAIA, L. P. Uso de dados da missão SRTM e sedimentológicos nos estudos de Geomorfologia e padrões de drenagem na região dos Lençóis Maranhenses. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 62, p. 1-14, 2010.

GILBERT, G. K. **Report on the Geology of the Henry Mountains**. U.S. Geogr. Geol. Survey Rocky Mtn. Region, 1877, p. 18-98.

GOOGLE EARTH, 2010. **Google Earth, Versão 6.0**. Disponível em: http://earth.google.com/intl/pt/.

GUERRA, A. T.; GUERRA, A. J. T. **Novo dicionário geológico e geomorfológico**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1997.

GUERRA, A. J. T. O Início do Processo Erosivo. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M (Org.). **Erosão e conservação dos solos: conceito, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p.17-50, 1999.

GUERRA, A. J. T.; MENDONÇA, J. K. S. Erosão dos solos e a questão ambiental. In: VITTE, A. C. e GUERRA, A. J. T. (Org.). **Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 225-257, 2007.

LEME, S. M. **Relevo, processos geoecológicos, processos sócio-reprodutores e a fragilidade ambiental na bacia do Ribeirão Piracicamirim/SP**. 2007. 196f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, 2007.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação do solo**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

LIBAULT, A. Os quatro níveis da pesquisa geográfica. **Método em Questão**, São Paulo, n. 1, 1971.

LOBÃO, J. S. B.; VALE, R. M. C. Aplicação do MDT/SRTM/NASA para detalhamento geomorfológico no semi-árido. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOPROCESSAMENTO E SENSORIAMENTO REMOTO, 3., **Anais**... Aracajú: UFSE, p. 1-6, 2006.

LOCH, C.; LOCH, R. R. N.; LEMOS II, D. L.; KARNAUKHOVA, E.; OLIVEIRA, K. N.; BASTOS, E. F. **Potencial dos dados de sensoriamento remoto para suporte cartográfico digital em Sistemas de Informações Aplicadas.** Universidade Federal de Santa Catarina, S/DATA.

MARTINS, J. C.; PIRES, F. P., OLIVEIRA, A. V.; HORTA, C. Escoamento de água superficial e perda de solo numa pastagem semeada sujeita a diferentes níveis de fertilização, na região do Baixo Alentejo. **Revista Pastagens e Forragens**. v. 22, p. 81-89, 2001.

MEDEIROS, L. C.; FERREIRA, N. C.; FERREIRA, L. G. Avaliação de Modelos Digitais de Elevação para delimitação automática de Bacias Hidrográficas. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 61, 2009.

MENEZES, J. B.; ARAÚJO, M. S. B.; GALVÍNCIO, J. D.; SAMPAIO, E. V. S. B.; CORRÊA, A. C. B. Índice de vulnerabilidade à erosão para uma bacia na mesorregião do São Francisco pernambucano, a partir das relações entre morfogênese e pedogênese. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.8, n.2, p.45-56, 2007.

MOREIRA, E. R. Geografia da Paraíba...

NETTO, A. L. C. Hidrologia de encosta na interface com a Geomorfologia. In: GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S. B (Org.). **Geomorfologia, uma atualização de bases e conceitos**. 7. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 93-144, 2007.

NIMER, E. **Pluviometria e recursos hídricos de Pernambuco e Paraíba**. Rio de Janeiro: IBGE, 1979.

NIMER, E. Subsídio ao plano de ação mundial para combater a desertificação: programa das Nações Unidas. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, n. 3, v. 42, p. 612-37, 1980.

NOBRE, P.; SHUKLA, J. Variations of sea surface temperature, Wind stress, and rainfall over the tropical Atlantic and South America. **Journal of Climate**, v. 9, p. 2464-2479, 1996.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Edgard Blucher, 1988.

OLIVEIRA, F. P.; SANTOS, D.; SILVA, I. F.; SILVA, M. L. Tolerância de perda de solo por erosão para o Estado da Paraíba. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**. v. 8, n. 2, p. 60-71, 2008.

OLIVEIRA, J. H. M.; CHAVES, J. M. Fragilidade ambiental de um setor do Raso da Catarina-BA e entorno utilizando geoprocessamento (álgebra simples de mapas – sobreposição ponderada). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 13., 2009. **Anais**... Viçosa: UFV, 2009.

OLIVEIRA, E. B. P. M.; SÍGOLO, J. B. Orientação para elaboração de teses, dissertações e outros trabalhos acadêmicos. **Revista do Instituto de Geociências – USP,** São Paulo, v. 3, n. 1, p. 1-56, 2005.

PAIVA, L. A. N.; SILVA, F. M.; NASCIMENTO, P. S. R. Uso de imagens MODIS e TM para a detecção de áreas degradadas na sub-bacia do Taperoá-PB. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 13., 2009. **Anais**... Viçosa: UFV, 2009.

PARAÍBA. Secretaria do Meio Ambiente. AESA. **Anuário Estatístico da Paraíba**. Campina Grande: 2007.

PASSOS, P. F.; SANTANA, N. M. G.; TEIXEIRA, J. L.; PAZ, D. M.; MENEZES, J. B. Uso de técnicas de Geoprocessamento para estimativa de áreas susceptíveis à erosão na bacia hidrográfica do rio Mamanguape-PB. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO. **Anais**... Recife: UFPE, 2010.

ROCHA, J. S. M. **Manual de projetos ambientais**. Santa Maria: Imprensa Universitária, 1997.

RODRIGUES, M. F. **Perfil topográfico esquemático do Estado da Paraíba**. S/DATA.

SALOMÃO, F. X. T. Controle e prevenção dos processos erosivos. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertand Brasil, p. 229-265, 1999.

SAMPAIO, E. V. S. B. SAMPAIO; Y. VITAL, T. ARAÚJO, M. S. B. SAMPAIO, G. V. **Desertificação no Brasil – Conceitos, núcleos e tecnologias de recuperação e convivência**. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2003.

SANTOS, R. F. **Planejamento ambiental: teoria e prática**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

SANTOS, E. J. Ensaio preliminar sobre terrenos e tectônica acrescionária na Província da Borborema. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 39, 1996, Salvador. **Anais**... Salvador: SBG, p. 47-50, 1996.

SANTOS, E.; MEDEIROS, V. C. Constraints from granitic plutonism on proterozoic crustal growth of the transverse zone, Borborema Province NE Brazil. **Revista Brasileira de Geociências**, v.29, n. 1, p. 73-84, 1999.

SANTOS, E. J. **O complexo granítico Lagoa das Pedras: acresção e colisão na região de Floresta (Pernambuco) Província Borborema**. São Paulo, 1995. 219p. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 1995.

SEMARHM. Secretaria Extraordinária do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e Minerais/SUDEMA – Superintendência de Desenvolvimento do Meio Ambiente. **Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado da Paraíba: Região do Cariri Ocidental – Estudos Hidrológicos**. João Pessoa, Paraíba, 2000.

SERRÃO, M. G.; DOMINGUES, H.; FERNANDES, M.; MARTINS, J., PIRES, F., SARAIVA, I., FARELEIRA, P., MATOS, N.; FERREIRA, E.; CAMPOS, A.; HORTA, C. e DORDIO, A. Contributo para a melhoria de solos marginais destinados a pastagens pela aplicação de lama residual urbana, sem riscos ambientais. **Revistas de Ciências Agrárias**. v. 32, n. 1, p. 258-272, 2009.

SILVA, D. G. **Evolução paleoambiental dos depósitos de tanques em Fazenda Nova Pernambuco**. 2007. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Ciências Geográficas, UFPE, Recife, 2007.

SILVA, J. E. B.; SANTOS, P. R. A. A utilização dos modelos SRTM na interpretação geomorfológica: técnicas e tecnologias aplicadas ao mapeamento geomorfológico do território brasileiro. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., **Anais**... Florianópolis: INPE, p. 4261-4266, 2007.

SILVA, J. M. **El Niño: o fenômeno do século XX**. 2000.

SILVEIRA, T. A. **Geoprocessamento aplicado ao planejamento dos transportes urbanos**. 2006. 77f. Monografia (Graduação) – Centro Federal de Educação Tecnológica, João Pessoa, 2006.

SILVEIRA, C.; FIORI, A. P.; OKA-FIORI, C. Estudo das unidades ecodinâmicas de instabilidade potencial na APA de Guaratuba: subsídios para o Planejamento Ambiental. **Boletim Paranaense de Geociências**, n. 57, p. 9-23, 2005.

SOBRINHO, M. Q. S.; COSTA FILHO, J. F.; SÁ, T. F. F.; COSTA, T. S. A. Variabilidade temporal da vegetação na bacia hidrográfica do rio Taperoá-PB, usando técnicas de sensoriamento remoto. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE CIENCIAS GEODESICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, 3., 2010. **Anais**... Recife: UFPE, 2010.

SOUZA, B. I.; SILANS, A. M. B. P.; SANTOS, J. B. Contribuição ao estudo da desertificação na Bacia do Taperoá. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 8, n. 2/3, p. 292-298, 2004.

SOUZA, M. B. Análise ambiental por geoprocessamento, estudo de caso da microbacia do Ribeirão da Mutuca Nova Lima – MG. 2002. 128p. Dissertação (Mestrado), Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, 2002.

SOUZA, B. I. **Cariri paraibano, do silêncio do lugar à desertificação**. 2008. 198p. Tese (Doutorado). Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2008.

SOUZA, M. J. N. OLIVEIRA, J. G. B. CALDAS LINS, R. JATOBÁ, L. **Condições geoambientais do semi-árido brasileiro**. *Revista Ciência e Tópico***.** Vol. 20, n.1. jan/jun 1992.

SOTCHAVA, V. B. O. *Estudo de Geossistemas*. Tradução: Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro e Dora de Amarante Romariz. Instituto de Geografia (USP), São Paulo, p.1-51, 1977.

VALLADARES, C. C.; HOTT, M. C.; QUARTAROLI, C. F.; MIRANDA, E. E.; KEPCLER, D. **Aptidão agrícola do Maranhão.** Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <http://www.aptidaoma.cnpm.embrapa.br>. Acesso em: 16 fev. 2011.

VALERIANO, M. M. e ROSSETTI, D. F. TOPODATA: **Seleção de coeficientes geoestatísticos para o refinamento unificado de dados SRTM**. Projeto de Produtividade em Pesquisa “Desenvolvimento de aplicações de dados topográficos SRTM”, CNPq, São José dos Campos, INPE, 2010.

VASCONCELOS, T. L.; SOUZA, S. F.; DUARTE, C. C.; MELIANI, P. F.; ARAÚJO, M. S. B.; CORRÊA, A. C. B. Estudo morfodinâmico em área do semi-árido do Nordeste Brasileiro: um mapeamento geomorfológico em micro-escala**. Revista de Geografia**, v.24, n.2, p. 36-49, 2007.

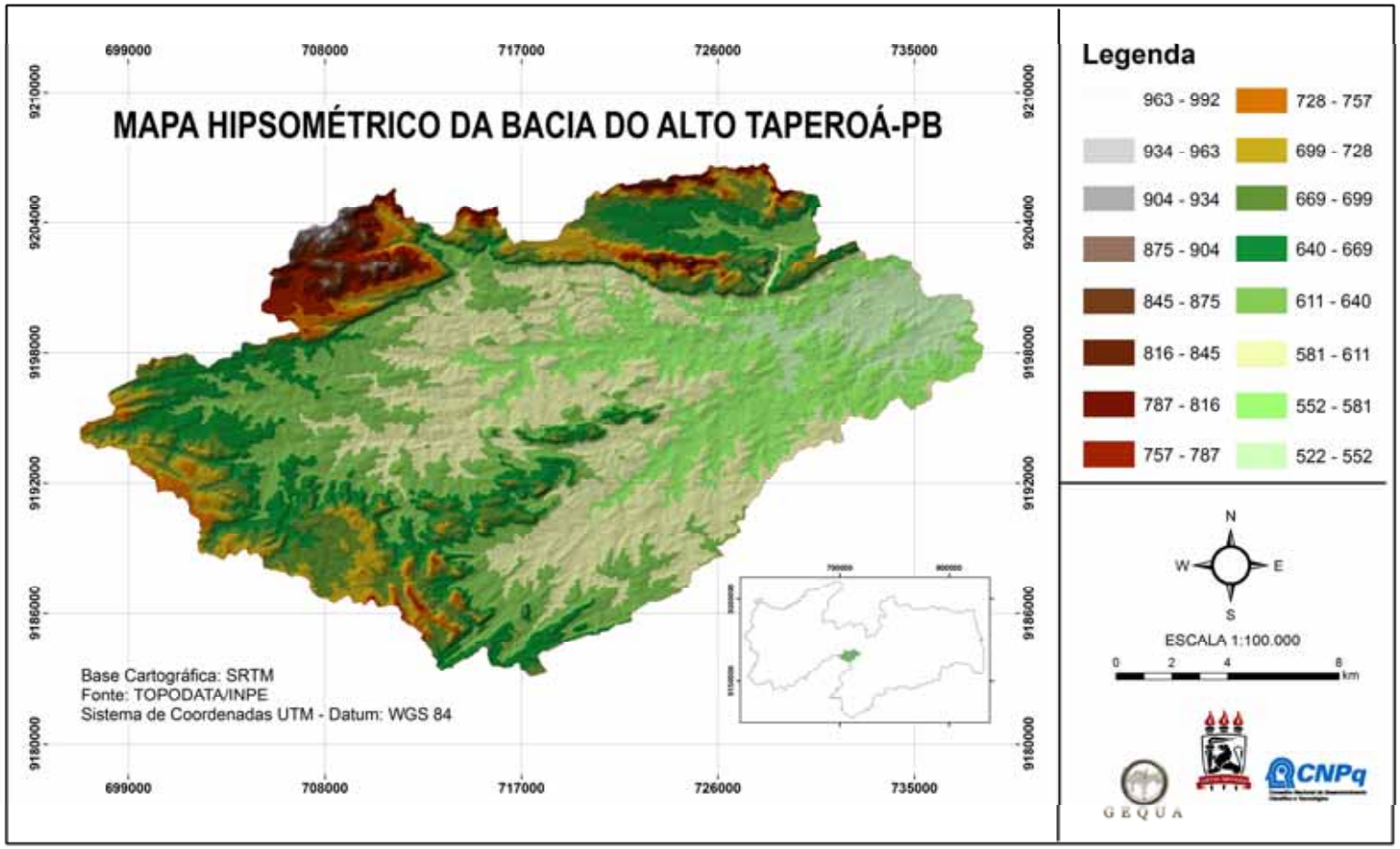
VITTE, A. C. Os fundamentos metodológicos da Geomorfologia e a sua influência no desenvolvimento das Ciências da Terra. In: VITTE, A. C. e GUERRA, A. J. T. (Org.). **Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004.

TEODORO, V. L. I.; TEIXEIRA, D.; COSTA, D. J. L.; FULLER, B. B. O conceito de Bacia Hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista UNIARA**, n. 20, p. 137-156, 2007.

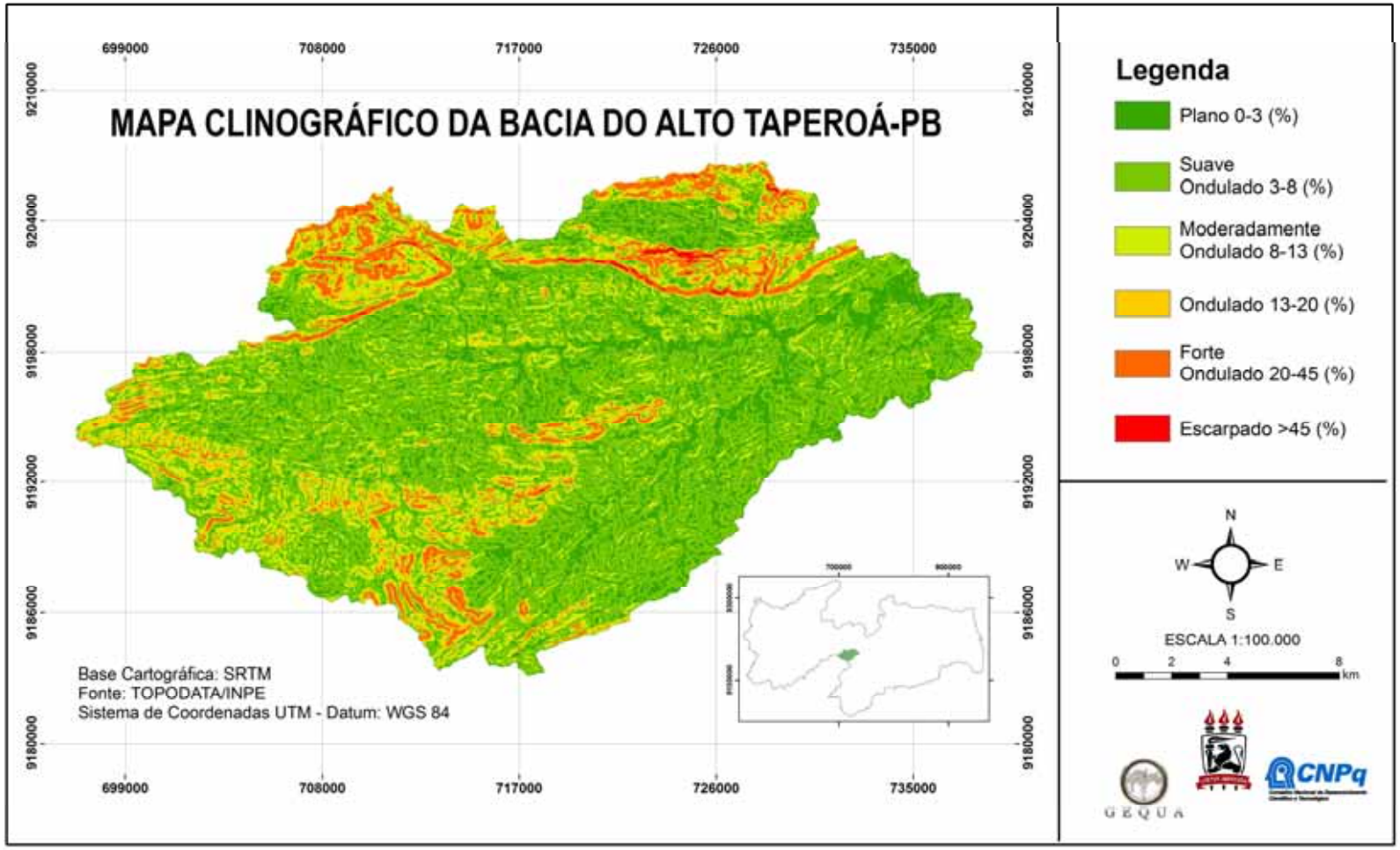
TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: FIBGE/SUPREN, 1977.

ANEXOS

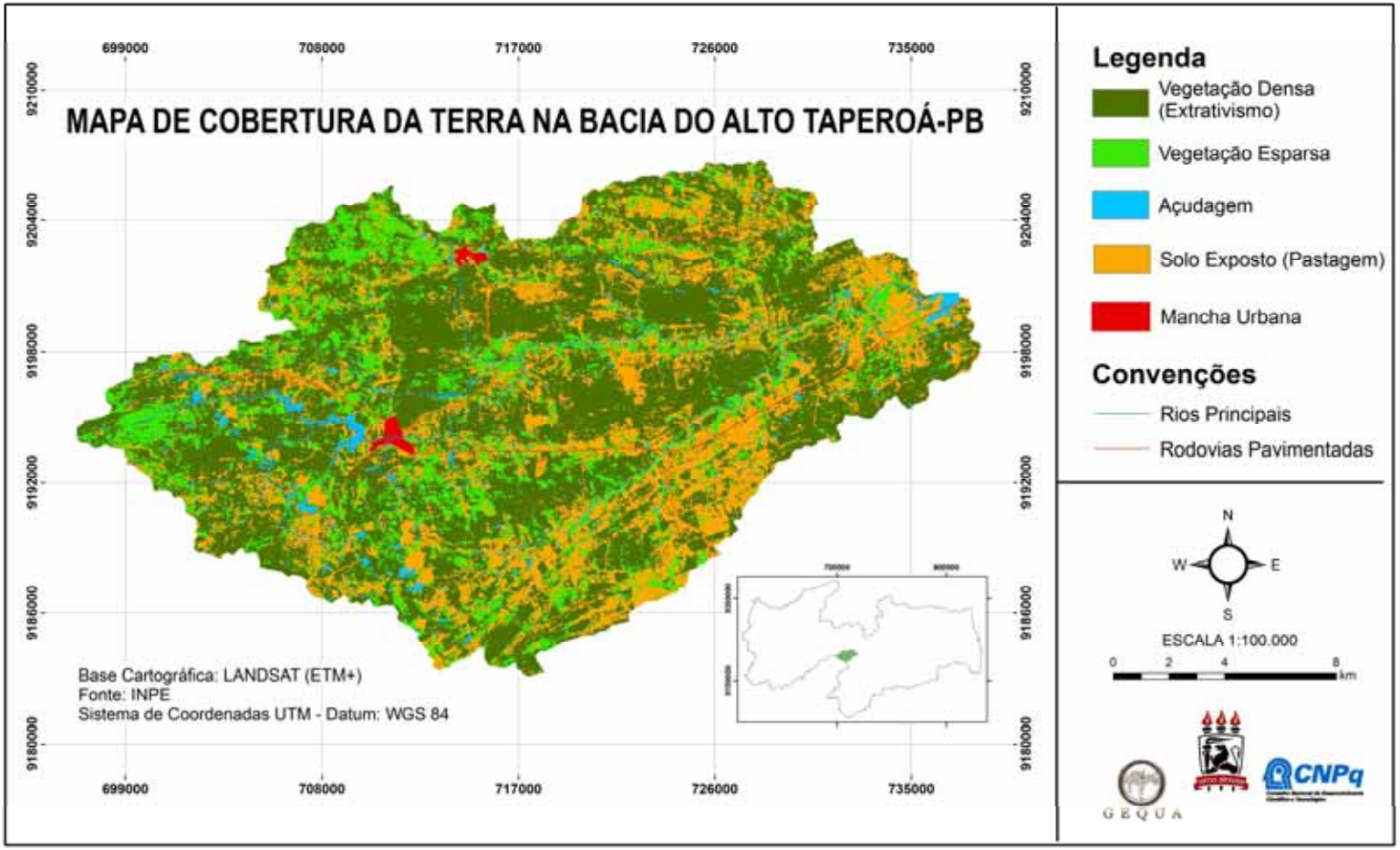
ANEXO I – Hipsometria da bacia do alto curso do rio Taperoá, Estado da Paraíba, Nordeste do Brasil.



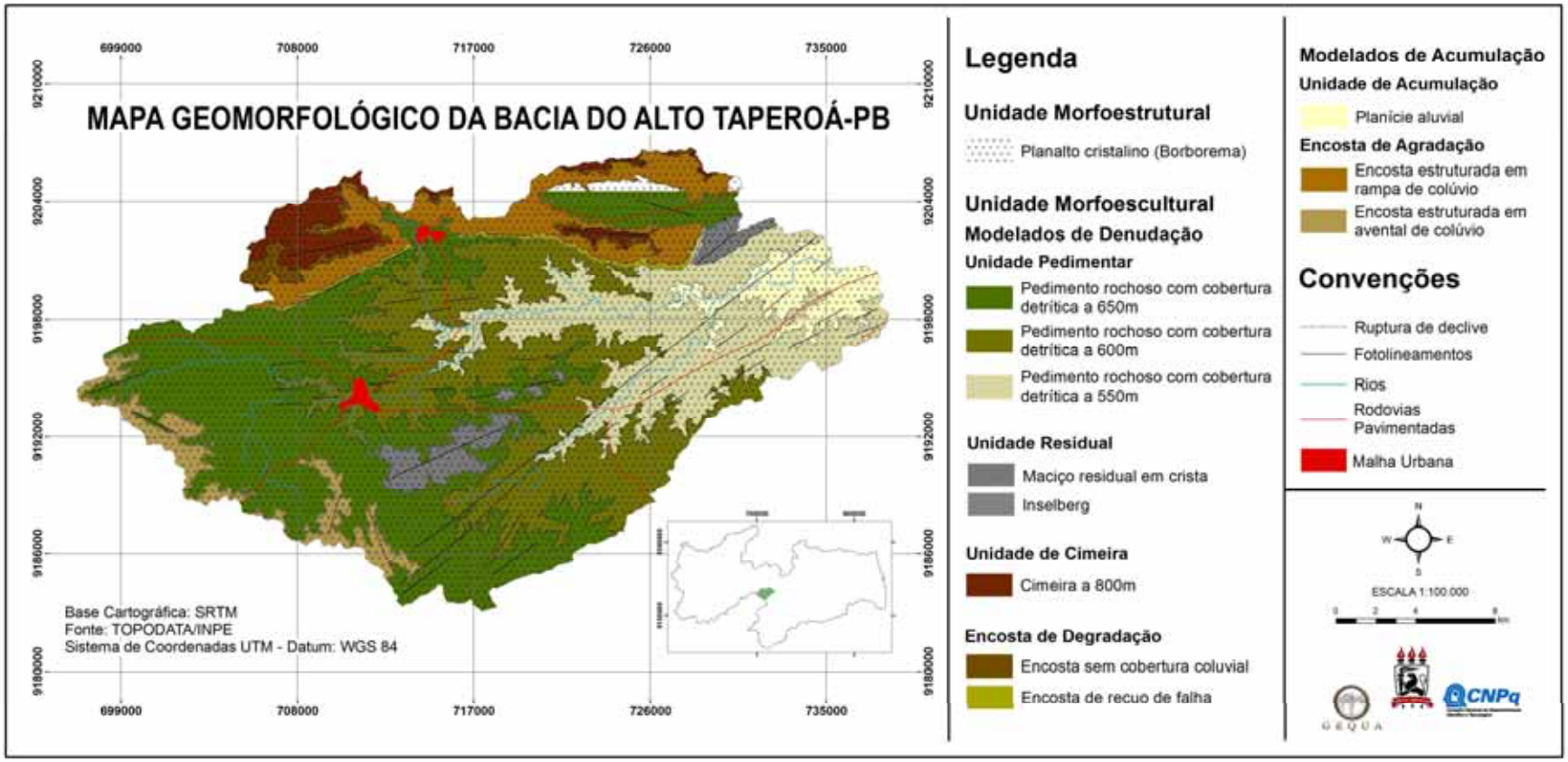
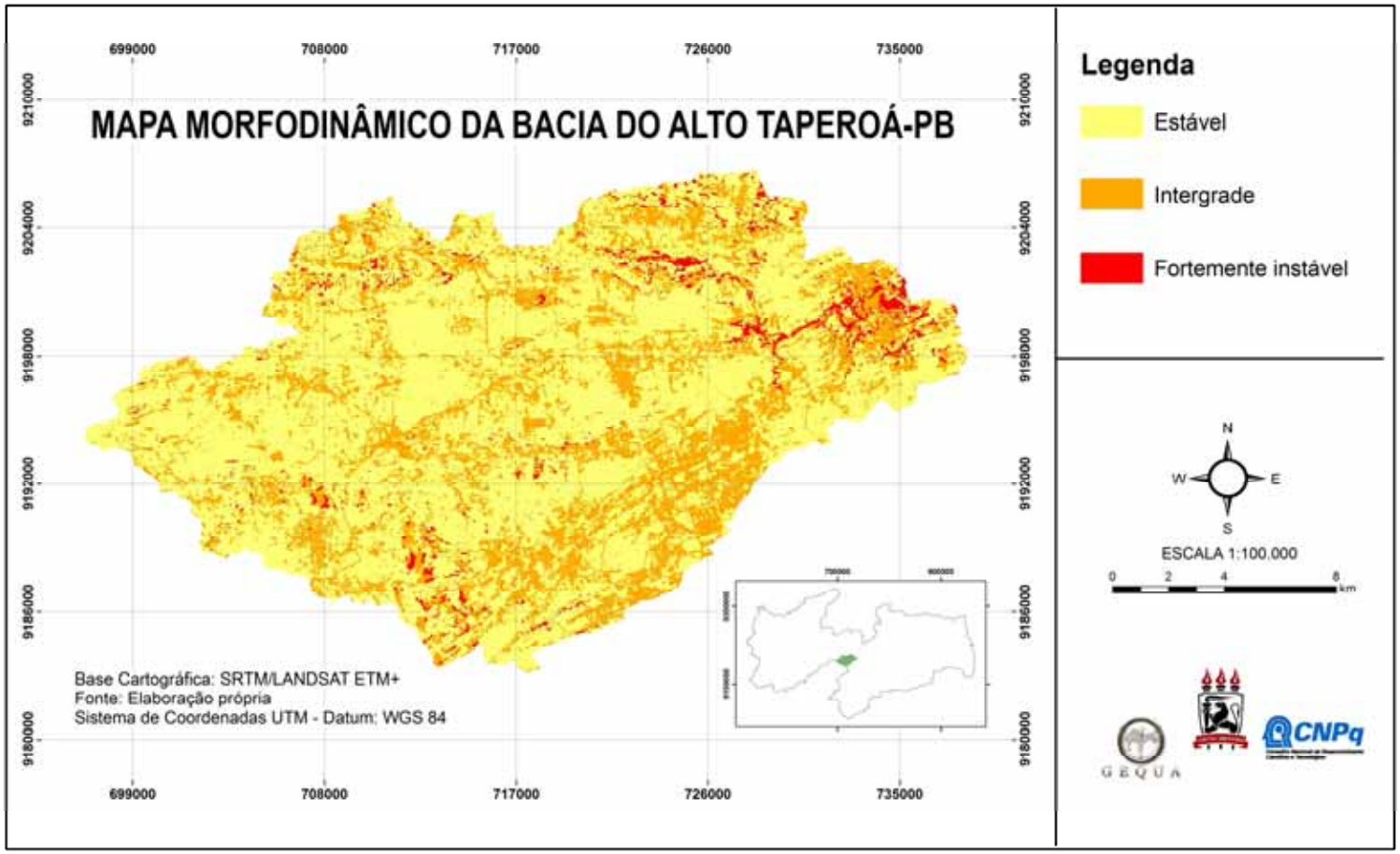
ANEXO II – Declividade da bacia do alto curso do rio Taperoá, Estado da Paraíba, Nordeste do Brasil.



ANEXO III – Cobertura da terra na bacia do alto curso do rio Taperoá, Estado da Paraíba, Nordeste do Brasil.



ANEXO IV – Geomorfologia da bacia do alto curso do rio Taperoá, Estado da Paraíba, Nordeste do Brasil.



ANEXO V – Morfodinâmica da bacia do alto curso do rio Taperoá, Estado da Paraíba, Nordeste do Brasil.