UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE GEOLOGIA

NATALI DE OLIVEIRA PASSOS

ANÁLISE DA VULNERABILIDADE NATURAL À EROSÃO DA MICROBACIA DO RIO BRUMADO (BA) COM EMPREGO DE GEOTECNOLOGIAS

Salvador
2012

NATALI DE OLIVEIRA PASSOS

ANÁLISE DA VULNERABILIDADE NATURAL À EROSÃO DA MICROBACIA DO RIO BRUMADO (BA) COM EMPREGO DE GEOTECNOLOGIAS

Monografia apresentada ao Curso de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. MSc. Danilo Heitor Caires Tinoco Bisneto Melo

Salvador
2012

TERMO DE APROVAÇÃO

NATALI DE OLIVEIRA PASSOS

ANÁLISE DA VULNERABILIDADE NATURAL À EROSÃO DA MICROBACIA DO RIO BRUMADO (BA) COM EMPREGO DE GEOTECNOLOGIAS

Monografia aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia, Universidade Federal da Bahia, pela seguinte banca examinadora:

_____

Prof. MSc. Danilo Heitor Caires Tinoco Bisneto Melo (Orientador)
Instituto de geociências, UFBA

_____

Prof. MSc. Flávio José Sampaio
Instituto de geociências, UFBA

_____

Geólogo Cristovaldo Bispo dos Santos
CPRM – Serviço Geológico do Brasil

Salvador, 28 de junho de 2012

Aos meus pais, Fernando e Dalvita, minha fonte inesgotável de apoio, confiança e amor.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Danilo Melo que, mais do que suporte teórico-técnico, me deu um voto de confiança;

Ao professor Flávio Sampaio, o primeiro, em toda a minha experiência no IGEO, a perceber o meu potencial e apreciar o meu trabalho. Fato que contribuiu, sobremaneira, para o desenvolvimento da auto confiança que, em ultima estância, viabilizou a concepção e execução deste projeto;

À minha irmã, Monique Passos, pela colaboração e cumplicidade de hoje e de sempre;

A Marcelo Dourado, que na melhor expressão da palavra “companheiro”, me deu apoio técnico, logístico e emocional, de valor inestimável;

Meus mais sinceros agradecimentos.

RESUMO

Apresenta-se os principais resultados obtidos na aplicação de uma metodologia, apoiada em ferramentas de geoprocessamento, para a determinação do grau de suscetibilidade à erosão da microbacia do alto curso do rio Brumado, situada na mesorregião Centro-sul do estado da Bahia encerrando duas sedes municipais: Rio de Contas e Livramento de Nossa Senhora. Tal metodologia, integralmente aplicada em ambiente SIG, consistiu na delimitação da área da microbacia por meio de Modelo Numérico de Terreno (MNT); na elaboração de planos de informação referentes à geologia, relevo, solo, vegetação e clima com base em imagens de satélite, MNT e dados bibliográficos, com resolução espacial de 30m e; na integração dessas informações, por análise de multicritérios, que permitiu estabelecer valores na escala de vulnerabilidade adotada para a área objeto desta investigação. Como resultado, foram distinguidas oito unidades territoriais básicas subdivididas em seis unidades de paisagem natural e dois polígonos de intervenção antrópica. As unidades de paisagem natural I, II, V caracterizam-se como áreas medianamente estáveis. Nas unidades III, IV e VI, além de setores medianamente estáveis, foram identificados locais moderadamente vulneráveis. Dentro da escala adotada, 1:150.000, os procedimentos aplicados alcançaram resultados bastante coerentes com a realidade. Contudo, é importante lembrar que esta metodologia se propõe a ser, apenas, uma primeira aproximação do objeto de interesse, não dispensando posteriores trabalhos de campo e estudos de maior detalhe.

Palavras-chave: Suscetibilidade à erosão; Geotecnologias; Rio Brumado.

ABSTRACT

It presents the main results obtained in the application of a methodology, based on GIS tools, to determine the degree of susceptibility to erosion of the watershed of Brumado river's upper course which is located in south-central region of Bahia ending two municipal centers: Rio de Contas and Livramento de Nossa Senhora. This methodology, fully implemented in a GIS environment, consisted of defining the area of the watershed through Digital Elevation Model (DEM); in drawing up plans for information related to geology, topography, soil, vegetation and climate based on satellite images, MNT and bibliographic data and, on integration by advanced analysis of the information that set values on the vulnerability scale adopted for the area of this research. As a result eight basic territorial units were distinguished, subdivided into six units of the natural landscape and human intervention of two polygons. The natural landscape units I, II, V are characterized as moderately stable areas. Units III, IV and VI, in addition of being characterized as moderately stable sectors, were also identified as moderately vulnerable sites. Within the adopted scale, 1:150,000, the procedures applied have achieved results quite consistent with reality. However, it is important to remember that this methodology is proposed to be just a first approach of the object of interest, not eliminating subsequent field work and study in greater detail.

Keywords: Susceptibility to erosion; Geotechnologies; Brumado river.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1 - Evolução da área variável de influência durante o processo de escoamento superficial durante um evento chuvoso. Fonte: HEWLETT; HIBBERT (1967 apud LIMA E ZAKIA, 2012). 17
Figura 2. 2 - Interação da radiação eletromagnética com o alvo. Fonte: LEITE (2008). 23
Figura 2. 3 - Curvas de reflectância espectral típicas para vegetação, solo e água e, as faixas de comprimento de onda no visível e infra-vermelho. Fonte: Adaptado de Llilesand e Kiffer (1994). 23
Figura 2. 4 - Modelo holístico de um SIG. Fonte: Adaptado de Tomlinson (2007) por Gomes (2008). 24
Figura 2. 5 - - Estrutura de Armazenamento de dados geográficos em SIG. Notar o relacionamento biunívoco entre um objeto geográfico (poço) e um registro na Tabela de atributos. Fonte: Gomes (2008). 25
Figura 2. 6 - Representações de pontos, linhas e polígonos nos modelos vetorial e matricial. Fonte: Gomes (2008). 26
Figura 3. 1 - Localização da área de estudo. Em destaque (negrito) o contorno da microbacia do alto curso do rio Brumado. 28
Figura 3. 2 - Arcabouço Geológico do Aulacógeno do Paramirim. Em destaque (elipse preta), a situação da microbacia do rio Brumado neste contexto. Fonte: Adaptado de Gumarães, Santos e Melo (2008). 29
Figura 3. 3 - Contexto geomorfológico da área de estudo: unidade do Pediplano Sertanejo e Serras da Borda Ocidental. Em destaque (amarelo) a situação da microbacia em foco. Fonte: Adaptado de Miranda (2012). 31
Figura 4. 1 - Contorno da microbacia do rio Brumado, rede de drenagem e MNT (SRTM). 35
Figura 4. 2 - Mosaico com a composição de bandas (5R4G3B) das imagens do satélite Landsat 5. O retângulo indica a área de interesse. 37
Figura 4. 3 - Bloco diagrama ilustrando a relação entre o relevo e a idade dos solos (taxa pedogênese/ erosão). As setas indicam o aumento da erosão e da pedogênese. Fonte: Resende et. al. 2007. 39

Figura 4. 4 - Domínios climáticos da microbacia do rio Brumado, definidos sobre o moisaico de imagens do satélite Landsat 5 (composição 5R4G3B), e a localização das estações pluviométricas analisadas (Piatã e Brumado).....42
Figura 4. 5 - Escala de vulnerabilidade das unidades de paisagem natural. Fonte: Crepani et. al. (2001).....44
Figura 4. 6 - Representação da álgebra de mapas: plano A + plano B + plano C = plano R. Fonte: Adaptado de Caeiro (2009).....45
Figura 5. 1 - - Localização da Unidade I na microbacia do rio Brumado. 47
Figura 5. 2 - - Mapa geológico da área de estudo. Fonte: Modificado de Guimarães, Santos e Melo (2008). 48
Figura 5. 3 - Mapa de declividade da microbacia do rio Brumado.....49
Figura 5. 4 - Mapa de solos da microbacia do rio Brumado. 51
Figura 5. 5 - Mapa de vegetação e uso do solo da microbacia do rio Brumado. 52
Figura 5. 6 - Localização da unidade II na área de estudo. 53
Figura 5. 7 - Localização da unidade III na área de estudo. 53
Figura 5. 8 - Localização da unidade IV na área de estudo. 54
Figura 5. 9 - Localização da unidade V na área de estudo. 55
Figura 5. 10 - Localização da unidade VI na área de estudo. 56

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Estabilidade química relativa de monerais primários na zona de intemperismo.....20
Tabela 4.1 - Elementos da paisagem e suas respectivas classes do NVDI. 41
Tabela 4.2 - Avaliação da Estabilidade das Categorias Morfodinâmicas 43
Tabela 4.3 - Notas atribuídas às categorias temáticas: geologia, relevo, solo, vegetação e clima. 46

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 12

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 14

2.1 Mecanismos da Erosão 14

2.1.2 *Splash* 14

2.1.2 Infiltração 15

2.1.3 Escoamento Subsuperficial 15

2.1.4 Escoamento superficial 16

2.2 Vulnerabilidade à Erosão 18

2.3 Geotecnologias e os Estudos Ambientais 22

2.3.1 Sensoriamento Remoto 22

2.3.2 Sistemas de Informação Geográfica (SIG) 24

2.3.3 Modelo Numérico de Terreno 27

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO 28

3.1 Localização 28

3.2 Aspectos Fisiográficos 29

3.2.2 Geomorfologia 30

3.2.3 Solos 32

3.2.4 Vegetação 33

3.2.5 Clima 33

4 METODOLOGIA 34

4.1 Delimitação da Área de Estudo 34

4.2 Confecção dos Planos de Informação 36

4.2.1 Geologia 38

4.2.2 Relevo 38

4.2.3 Solos 39

4.2.4 Vegetação 40

4.2.5 Clima 41

4.3 Integração dos Dados em SIG 43

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES 47

5.1 Unidades Territoriais Básicas 47

5.1.1 Unidade I 47
5.1.2 Unidade II 50
5.1.3 Unidade III 53
5.1.4 Unidade IV 54
5.1.5 Unidade V 55
5.1.6 Unidade VI 56
5.2 Vulnerabilidade Natural à Erosão na Microbacia do Rio Brumado 57
6 CONCLUSÃO 58
REFERÊNCIAS 59
APÊNDICE A 62

1 INTRODUÇÃO

Conjuntamente com outros fenômenos da natureza, a erosão hídrica desempenha importante papel na esculturação da paisagem. Contudo, o manejo inadequado e a ocupação desordenada das terras tem acelerado este processo, acarretando em prejuízos de caráter ecológico, econômico e social.

Neste cenário, a remoção das camadas do solo constitui um sério problema, não apenas pela alteração das suas propriedades físicas, químicas e biológicas, que acabam por reduzir seu potencial agrícola, mas também, pela série de implicações que inicia com o incremento do aporte sedimentar provocando o assoreamento dos cursos d'água e reservatórios que, por sua vez, compromete o abastecimento de água para população, além de aumentar o risco de enchentes.

Fica evidente, então, que para um planejamento ambiental eficaz é da maior relevância a identificação dos fatores relacionados aos processos erosivos e o reconhecimento de áreas mais suscetíveis à erosão visando compatibilizar as atividades humanas com as potencialidades e limitações do meio natural.

Atualmente, geotecnologias, tais quais, Sensoriamento Remoto, Sistemas de Informação Geográfica e Modelos Numéricos de Terreno, têm sido amplamente empregadas nessa tarefa. Isto se deve a eficiência e agilidade, proporcionadas por este instrumental, na aquisição, análise e integração dos dados que compõe o meio físico, permitindo conectar os fragmentos da realidade, conduzindo, assim, a um entendimento sistêmico da paisagem.

No contexto dos estudos ambientais, diversos autores (RESENDE et. al. 2007; BERTONI; LOMBARDI NETO, 2010; BOTELHO, 1999) chamam a atenção para microbacia hidrográfica como uma unidade ideal de investigação e planejamento, visto que, neste recorte, é possível reconhecer e analisar as relações estabelecidas entre os diversos elementos que compõem a paisagem e seus mecanismos modeladores.

Diante do exposto, o presente trabalho buscou aplicar uma metodologia, apoiada em ferramentas de geoprocessamento, na análise de vulnerabilidade natural à erosão da microbacia do rio Brumado, na mesorregião Centro-sul do estado da Bahia.

Para tanto, teve como metas: confeccionar bases temáticas referentes à geologia, relevo, solo, vegetação e clima da área de interesse, atribuindo notas na

escala de vulnerabilidade para cada uma delas; gerar uma carta de vulnerabilidade natural à erosão, em escala 1:150.000, a partir da média aritmética das notas atribuídas para cada tema, bem como, fazer uma análise qualitativa dos resultados.

A relevância deste estudo reside na função desempenhada pelos estudos de vulnerabilidade nos planejamentos territoriais. Além de identificar locais de alta suscetibilidade, este tipo de análise, levanta informações sobre o meio físico, dentro de uma abordagem holística, levando ao entendimento do equilíbrio dinâmico estabelecido entre os diversos componentes da paisagem.

O presente texto está organizado em cinco capítulos. O primeiro deles aborda os conceitos e teorias que fundamentam esta pesquisa, estruturado em subtópicos que versam sobre: os mecanismos da erosão, descrevendo suas etapas; vulnerabilidade à erosão e o embasamento teórico por trás dos métodos de investigação deste aspecto; geotecnologias e os estudos ambientais, fazendo uma breve explanação sobre sensoriamento remoto, Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e Modelos Numéricos de Terreno (MNT).

O capítulo seguinte apresenta as características da área objeto deste estudo, tais quais, sua localização e seus aspectos geológicos, geomorfológicos, pedológicos, fitoecológicos e climáticos de um ponto de vista regional.

No capítulo posterior, consta a descrição de cada passo executado na elaboração da carta de vulnerabilidade à erosão da área pesquisada, ordenados em três etapas: Delimitação da área de Estudo, Confecção dos Planos de Informação Temáticos e, Integração dos Dados em SIG.

O capítulo seguinte traz uma discussão dos resultados obtidos, subdivididos em dois tópicos: Unidades Territoriais Básicas, que trata, individualmente, das unidades naturais da paisagem e as relações estabelecidas entre os elementos que a constitui e; Vulnerabilidade Natural à Erosão da Microbacia do rio Brumada, que discute os estágios de evolução morfodinâmica identificados por esta pesquisa.

O capítulo final traz uma síntese dos resultados e as conclusões a cerca da metodologia aplicada.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

No contexto de uma microbacia hidrográfica, a erosão hídrica figura como o principal mecanismo de esculturação da superfície terrestre, sendo, portanto, parte integrante da dinâmica da paisagem. Desta forma, torna-se indispensável à compreensão dos seus processos e fatores controladores.

2.1 Mecanismos da Erosão

De um ponto de vista sistêmico, a erosão hídrica consiste basicamente numa série de transferências de energia e matéria geradas por um desequilíbrio do sistema água/solo/cobertura vegetal, as quais resultam numa perda progressiva do solo (MAFRA, 1999). A ação das gotas de chuva e os processos hidrológicos superficiais e subsuperficiais correspondem às fontes de energia. Em contra partida, o solo e a cobertura vegetal oferecem resistência a essas fontes. Disto decorre que o processo erosivo tem como condicionantes a chuva, as propriedades do solo, a topografia e a cobertura vegetal.

Segundo Guerra (1999), a evolução da dinâmica erosiva nas encostas pode ser compreendida a partir dos seguintes estágios: splash, infiltração, escoamento subsuperficial e superficial, serão discutidos a seguir.

2.1.2 *Splash*

O impacto das gotas da chuva, referido, na literatura, como splash, pode ser entendido como o estágio de preparação das partículas constituintes do solo para o transporte por escoamento superficial. Isto se dá pela ruptura dos agregados e pelo deslocamento do material por salpicamento que acaba por preencher os poros da superfície do solo, diminuindo, assim, a sua porosidade, acentuando o escoamento superficial.

De acordo com Guerra (op.cit.), o papel do splash varia não só com a resistência do solo ao impacto das gotas de água, mas também com a própria energia cinética destas. Este parâmetro está relacionado diretamente com a intensidade da chuva, sendo, portanto, função da sua duração, massa, tamanho da gota e

velocidade. Desta forma, é amplamente utilizado para a determinação da erosividade, ou seja, habilidade da chuva em promover erosão.

2.1.2 Infiltração

A infiltração relaciona-se diretamente á permeabilidade do terreno, variando tanto pela compactação promovida pela ocupação do solo, tanto pela intensidade e frequência das chuvas, natureza e organização do solo, e inclinação, geometria e comprimento das vertentes (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2010).

Para Guerra (1999), a taxa de infiltração, índice que mede a velocidade com que a água da chuva se infiltra no solo, possui um papel importante na geração de escoamento superficial, pois, ao saturar o solo, cessa a infiltração e começam a se formar poças que, por sua vez, ocupam as irregularidades existentes na superfície. Uma vez que estas irregularidades estejam preenchidas por água, começam a se ligar umas com as outras, dando início ao escoamento superficial.

2.1.3 Escoamento Subsuperficial

O escoamento subsuperficial envolve o movimento da água nas camadas superiores do solo merecendo muita atenção, pois, além de controlar o intemperismo, afeta diretamente a estabilidade das encostas e a erodibilidade dos solos pelas propriedades hidráulicas. O aumento da pressão neutra e o surgimento da força de percolação conduzem a diminuição do índice de estabilidade de uma vertente e, quando o fluxo ocorre concentrado, tem como efeito a erosão retrogressiva ou em piping (FIORI; CARMIGNANI, 2009). O fenômeno de piping provoca a remoção de partículas do interior do solo formando canais que evoluem em sentido contrário ao fluxo de água, podendo dar origem a colapsos do terreno, com desabamentos que alargam voçorocas ou criam novos ramos (SALOMÃO, 1999).

Além dos fenômenos erosivos causados pelo escoamento subsuperficial, Fiori e Carmignani (op. cit) consideram que seu efeito mais importante é o de provocar acumulação de umidade do solo no sopé das encostas e nas partes côncavas da paisagem, influenciando, assim, a intensidade dos fluxos superficiais.

2.1.4 Escoamento superficial

Desde os trabalhos pioneiros de Horton (1933 apud FIORI; CARMIGNANI, 2009), prevaleceu a teoria de que o escoamento direto, volume de água que causa o aumento rápido da vazão em uma microbacia durante e imediatamente após a ocorrência de uma chuva, era basicamente produzido pelo escoamento superficial que ocorre toda vez que a intensidade da chuva excede a capacidade de infiltração do solo (CHORLEY, 1978 apud FIORI; CARMIGNANI, op. cit.).

No entanto, o estudo de hidrogramas de microbacias experimentais de regiões montanhosas permitiu o estabelecimento, no início da década de 60, levaram Hewlett e Hibbert (1967 apud LIMA; ZAKIA, 2012) a desenvolverem o conceito de "área variável de afluência". Segundo Lima e Zakia (2012), a elaboração deste conceito deveu-se ao fato de que nestas microbacias revestidas de boa cobertura florestal o deflúvio (escoamento direto) não é produzido ao longo de toda a superfície da microbacia. Ao contrário, o deflúvio nestas condições está sob a influência de uma área de origem dinâmica, uma vez que sofre expansões e contrações (daí o nome "área variável"), e que normalmente representa apenas uma fração pequena da área total da microbacia.

Os referidos autores colocam ainda que

> Durante uma chuva, a área da microbacia que contribui para a formação do deflúvio resume-se aos terrenos que margeiam a rede de drenagem, sendo que nas porções mais altas da encosta a água da chuva tende principalmente a infiltrar-se e escoar até o canal mais próximo através de processo sub superficial. Com o prolongamento da chuva, estas áreas de origem tendem a se expandir, não apenas em decorrência da expansão da rede de drenagem, como também pelo fato de que áreas críticas da microbacia, tais como áreas saturadas, áreas de solo mais raso, etc. participam da geração do escoamento direto (LIMA; ZAKIA, 2012.).

A sequência apresentada na Figura 2.1 ilustra o processo dinâmico do conceito da área variável de afluência.

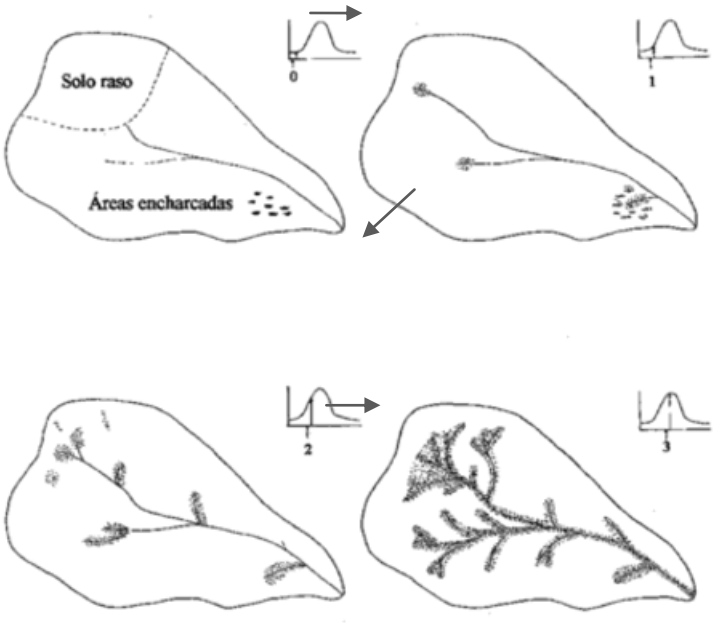

Figura 2.1 - Evolução da área variável de influência durante o processo de escoamento superficial durante um evento chuvoso. Fonte: HEWLETT; HIBBERT (1967 apud LIMA E ZAKIA, 2012).

Lima e Zakia (2012) afirmam que nas áreas com boas condições de cobertura vegetal, a ocorrência do modelo de escoamento superficial proposto por Horton (1933) ao longo de todas as partes da microbacia é rara ou mesmo ausente. Por outro lado, áreas parciais da microbacia podem produzir escoamento superficial, ainda que, a intensidade da chuva seja inferior à capacidade de infiltração média para a microbacia como um todo, e estas áreas correspodem a:

a) zonas saturadas que margeiam os cursos d'água e suas cabeceiras, as quais podem se expandir durante chuvas prolongadas (zonas ripárias);
b) concavidades do terreno, para as quais convergem as linhas de fluxo, como as concavidades frequentemente existentes nas cabeceiras (também faz parte da zona ripária);
c) áreas de solo raso, com baixa capacidade de infiltração.

A princípio, o escoamento superficial dá-se em fluxo difuso, também denominado fluxo laminar, provocando a erosão laminar ou em lençol.

> Segundo Horton (1945), a força de cisalhamento imposta por esse fluxo ainda não é suficiente para transportar partículas, mas, à medida que esse fluxo aumenta e acelera, encosta abaixo, ocorre o cisalhamento das partículas do solo e, finalmente a erosão começa a ocorrer a partir de uma distância crítica da encosta (GUERRA, 1999, p.30).

Posteriormente começa a ocorrer concentração do fluxo de água (fluxo linear). Neste estágio a concentração de sedimentos no interior do fluxo linear provoca um forte atrito entre as partículas e o fundo dos pequenos canais acentuando a erosão e dando inicio à formação de ravinas (GUERRA op. cit.).

2.2 Vulnerabilidade à Erosão

Vulnerabilidade define o nível em que uma mudança pode prejudicar ou destruir um sistema. Esse nível depende tanto da sensibilidade/suscetibilidade, ou seja, da reação ou mudança ocorrida com a mínima variação nas condições externas, quanto da capacidade do sistema em retornar as condições originais após ser afetado por ações de distúrbios externos (CHRISTOFOLETTI, 1999 apud RIOS, 2011).

Sob esta ótica, diversos autores, como Crepani et. al. (1996; 2001); Oliveira et al. (2009); Salomão (1999), propuseram metodologias para o estudo de vulnerabilidade natural à erosão. Não raro, estas propostas possuem, como balizadoras metodológicas, os princípios da Ecodinâmica de Tricart (1977).

Para este último, o desencadeamento de processos erosivos e de movimentos de massa (morfogênese) representa instabilidade na superfície, reduzindo a quantidade e qualidade dos solos ou restringindo o desenvolvimento destes (pedogênese), em consequência, afeta diretamente o incremento e a potencialidade da biota. Nessa perspectiva, o autor propôs uma classificação da paisagem embasada no instrumento lógico dos sistemas e considerando, fundamentalmente, o aspecto dinâmico e evolutivo do modelado terrestre (morfodinâmica). Na sua taxonomia da paisagem os meios morfodinâmicos podem ser:

a) Estáveis, quando há predomínio da pedogênese sobre a morfogênese. Prevalece a condição de clímax na qual o modelado evolui lentamente;
b) Intergrades ou de Transição, quando há passagem gradual entre os meio estáveis e instáveis, ou seja, um balanço entre pedogênese e morfogênese;

c) Fortemente Instáveis, quando apresenta a morfogênese como elemento predominante, possuindo características de desequilíbrio ou de instabilidade morfogenética.

Neste ponto, é valido ressaltar que:

> O estado de estabilidade não é indicador de equilíbrio estático. As forças controladoras apresentam variações em sua intensidade e frequência, de modo que o sistema pode apresentar uma dinâmica em seu funcionamento para oferecer reações perante essa variabilidade na frequência e magnitude das entradas, através de mecanismos que absorvem essas oscilações externas sem mudar as suas características internas. Essas reações denunciam um equilíbrio dinâmico, marcando a estabilidade do sistema. (CHRISTOFOLETTI, 1999, p.113 apud RIOS, 2011).

Seguindo estas premissas, Crepani et. al. (1996; 2001), desenvolveram uma metodologia para a elaboração de cartas de vulnerabilidade à erosão, a qual fundamenta o presente trabalho.

Esta proposta prevê a delimitação de Unidades Territoriais Básicas divididas em duas categorias: Unidades de Paisagem Natural e Polígonos de Intervenção Antrópica. De acordo com os autores, esta célula elementar deve conter atributos que permitem diferenciá-la de suas vizinhas, ao mesmo tempo em que possui vínculos dinâmicos que a articulam a uma rede integrada por outras unidades territoriais.

O conhecimento dos mecanismos que atuam nas unidades de paisagem natural permite orientar as atividades a serem desenvolvidas dentro do polígono de intervenção antrópica, de maneira a evitar agressões irreversíveis e obter maior produtividade, além de dirigir ações corretivas dentro daqueles polígonos onde o uso inadequado provoca consequências desastrosas do ponto de vista ecológico e econômico (CREPANI et. al. 2001).

Para a obtenção de um retrato fiel do comportamento de cada unidade frente às intervenções humanas que lhe são impostas, faz-se necessária a análise integrada dos elementos constituintes da paisagem - geológicos, geomorfológicos, pedológicos, fitográficos e climáticos.

Ressalta-se que cada unidade de paisagem natural apresenta diferentes graus de absorção aos estímulos exteriores, assim, como seus componentes apresentam escalas diferentes para o reajustamento frente às modificações provocadas externamente até que se restaure o equilíbrio perdido.

Desta forma, Crepani et. al. (op. cit.) esclarece quais são os indicadores fornecidos por cada tema (Geologia, Geomorfologia, Solos, Vegetação e Clima), como segue:

A informação básica da Geologia a ser integrada a partir da Ecodinâmica é o grau de coesão das rochas, ou seja, a intensidade da ligação entre os minerais ou partículas que as constituem. Isto se deve ao fato que, em rochas pouco coesas prevalecem os processos modeladores do relevo, enquanto em rochas muito coesas prevalecem os processo formadores de solo.

O grau de coesão das rochas é função da suscetibilidade à ação intempérica dos minerais que a compõem, bem como, da resistência à desagregação destes. Com base na natureza das ligações entre os átomos e comportamento dos elementos químicos é possível avaliar a sua resistência ao intemperismo. A Tabela 2.1 mostra a estabilidade relativa dos minerais primários. Nota-se que em comparação aos minerais silicáticos, de uma maneira geral, sulfetos e carbonatos são mais suscetíveis enquanto os óxidos são menos suscetíveis.

Tabela 2.1 – Estabilidade química relativa de minerais primários na zona de intemperismo

Mineral	Muito Estável	Estável	Fracamente Estável	Instável
Formadores de rocha e acessórios	quartzo, corindum, espinélios, topázio, turmalina , zircão	K-feldspato, Na-plagioclásio, Moscovita, andaluzita, granada, cianita, silimanita	actnolita, apatita, cloritóide, diopsídio, epidoto, estaurolita	anfibólios, biotita, Ca-plagioclásio, calcita, clorita, dolomita, fedspatóides, glauconita, gipsita, olivina, piroxênios
Econômicos e minérios	cromita, diamante, ouro, platina e rutilo	barita, cassiterita, galena, ilmenita, magnetita, monazita, niobita-tantalita, torianita	hematita, scheelita, wolframita, titanita	arsenopirita, calcopirita, fluorita, molibdenita, pentladita, pirita, pirrotita, esfalerita.

Fonte: Peters (1978 apud FONSECA, 1999).

Adicionalmente, deve ser levado em conta o acesso do agente intempérico (água) e a remoção dos produtos de alteração no que diz respeito à vulnerabilidade à denudação das rochas. Quanto maior a quantidade de poros e descontinuidades numa rocha, mais facilmente a água poderá atacar seus constituintes e mais

rapidamente será retirado os produtos de alteração, expondo, assim novas superfícies ao intemperismo.

A Geomorfologia oferece como contribuição à caracterização da estabilidade da unidade de paisagem natural informações morfométricas, tais quais hipsometria, declividade e grau de dissecação. Estas informações permitem que se quantifique empiricamente a energia potencial disponível para a transformação em energia cinética responsável pelo transporte de materiais que esculpe as formas de relevo.

A Pedologia fornece o indicador básico da caracterização morfodinâmica da paisagem: o grau de maturidade do solo. Solos jovens, pouco desenvolvidos sinalizam a predominância de processos erosivos, em contra partida, solos maduros, lixiviados e bem desenvolvidos indicam o predomínio dos processos pedogenéticos.

A Cobertura Vegetal representa a defesa das unidades de paisagem contra os efeitos da erosão de diversas formas:

a) evitando o impacto direto das gotas de chuva no terreno, reduzindo o papel do splash;
b) retardando o ingresso das águas precipitações pluviais nas correntes de drenagem, atenuando, assim, os efeitos do escoamento direto;
c) impedindo a compactação do solo que influencia diretamente na sua capacidade de infiltração;
d) Aumentando a capacidade de infiltração do solo pela difusão do fluxo de água da chuva;
e) Incrementando a porosidade e permeabilidade do solo através das atividades biológicas das raízes das plantas, vermes e animais.

Desta forma, na perspectiva da ecodinâmica, coberturas vegetais menos densas favorecem aos processos erosivos, enquanto coberturas vegetais mais densas permitem o desenvolvimento e maturação do solo.

As informações climatológicas como pluviosidade anual e duração do período chuvoso definem a intensidade pluviométrica que, em estudos de vulnerabilidade da paisagem pode ser entendida como erosividade. Portanto, áreas submetidas à intensidade pluviométrica elevada (alta pluviosidade anual e curta duração do período chuvoso) são mais favoráveis à morfogenese. De forma inversa, baixa pluviosidade

anual bem distribuída ao longo do ano, traduz-se em menor erosividade, consequentemente, menor atuação dos processos modeladores do relevo.

2.3 Geotecnologias e os Estudos Ambientais

A elaboração de planos eficazes de gestão territorial demanda o máximo de informações possíveis sobre os elementos constituintes da área em foco. Neste cenário, Sensoriamento Remoto, Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e Modelo Numérico de Terreno (MNT) têm se mostrado ferramentas poderosas, não apenas na aquisição, como também, no tratamento, análise e integração dos dados, permitindo uma boa aproximação do comportamento da realidade pesquisada.

Um melhor aproveitamento destas geotecnologias pode ser obtido, tão logo se compreenda seus fundamentos básicos:

2.3.1 Sensoriamento Remoto

Define-se Sensoriamento Remoto como sendo a obtenção de informações sobre um objeto ou fenômeno através da análise de dados recolhidos por um equipamento ou sensor sem contato direto com ele (LEITE, 2008).

Os sensores empregados em satélites de pesquisa de recursos naturais da terra utilizam o sol como fonte de emissão de energia. Esta radiação incidente será absorvida, transmitida ou refletida pelo alvo (obejeto ou feição na superfície terrestre) em diferentes proporções dependendo do tipo de material que o compõe. Outro fator relevante é que as respostas espectrais dos alvos também irão variar para os diferentes comprimentos de onda. A Figura 2.2 esquematiza a interação da radiação eletromagnética com o alvo:

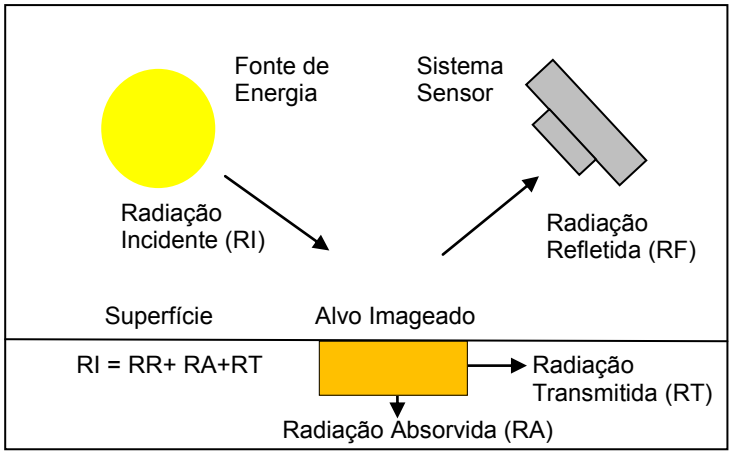

Figura 2. 2 - Interação da radiação eletromagnética com o alvo. Fonte: LEITE (2008).

Segundo Lopes (2009), uma imagem digital corresponde a uma função bidimensional, da intensidade de luz refletida ou emitida por uma cena, na forma I(x, y), onde os valores de I representam, a cada coordenada espacial (x, y), a intensidade da imagem nesse ponto. Essa intensidade é representada por um valor inteiro, não negativo e finito chamado nível de cinza. Cada ponto imageado pelos sensores corresponde a uma área mínima denominada "pixel" (picture cell), que deve estar geograficamente identificado, e para o qual são registrados valores digitais relacionados à intensidade de energia refletida em faixas (bandas) bem definidas do espectro eletromagnético.

Na Figura 2.3 pode ser observado o comportamento espectral dos principais alvos da superfície terrestre: vegetação, solo e água.

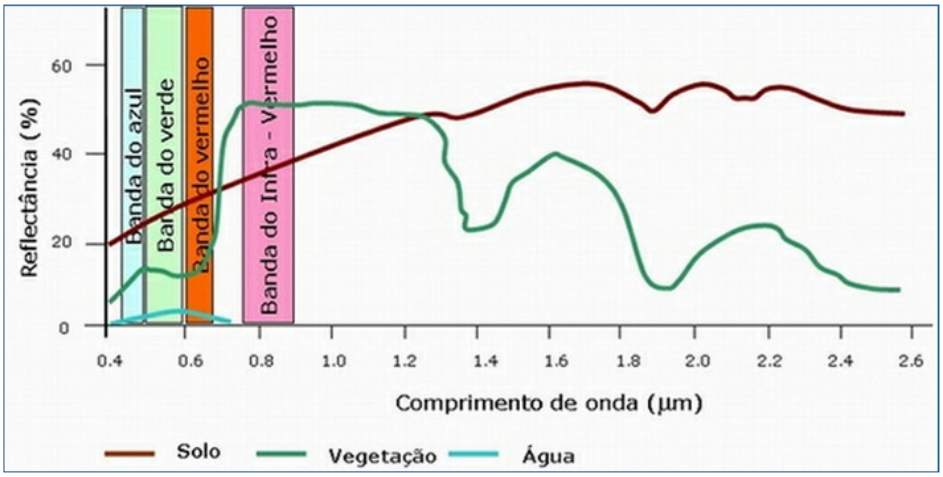

Figura 2. 3 - Curvas de reflectância espectral típicas para vegetação, solo e água e, as faixas de comprimento de onda no visível e infra-vermelho. Fonte: Adaptado de Llilesand e Kiffer (1994).

2.3.2 Sistemas de Informação Geográfica (SIG)

Bonham-Carter (1998), define SIG como um sistema computacional para gerenciar dados espaciais. Já Câmara e Davis Jr. (2001) o considera como ferramentas computacionais para geoprocessamento que permitem realizar análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e ao criar banco de dados georreferenciados (GOMES, 2008).

A respeito das muitas tentativas de definir Sistema de Informação Geográfica encontradas na literatura, Tomlinson (2007), argumenta que os SIGs resistem a uma definição simplista pelo fato de serem uma tecnologia particularmente horizontal com um largo espectro de aplicações nos setores industriais e acadêmicos (GOMES, op. cit.). Desta forma, em lugar de uma definição, o autor elaborou um modelo holístico de um sistema de informação geográfica funcional no qual os dados são analisados e transformados em informação útil, como pode ser visto na Figura 2.4.

Figura 2. 4 - Modelo holístico de um SIG. Fonte: Adaptado de Tomlinson (2007) por Gomes (2008).

De acordo com Gomes (2008), os dados geográficos, pedra angular de um sistema de informação geográfica, são armazenados em camadas ou planos temáticos, relacionados entre si por uma referência espacial. Cada um desses planos corresponde a um nível de informação que representa diferentes aspectos ou propriedades de um objeto ou fenômeno da realidade. Conjuntamente, tais planos, provenientes de diversas fontes, são organizados em um banco de dados geográficos que corresponde ao universo no qual podem ser relacionados analisados e combinados entre si como se estivessem empilhados uns sobre os outros. Esta relação encontra-se esquematizada na Figura 2.5.

Outro aspecto importante de um sistema de informação geográfica é a sua arquitetura dual, ou seja, a capacidade de relacionar dados gráficos a dados não gráficos. Isto implica que cada símbolo corresponde a um único registro na Tabela de atributos (Figura 2.5).

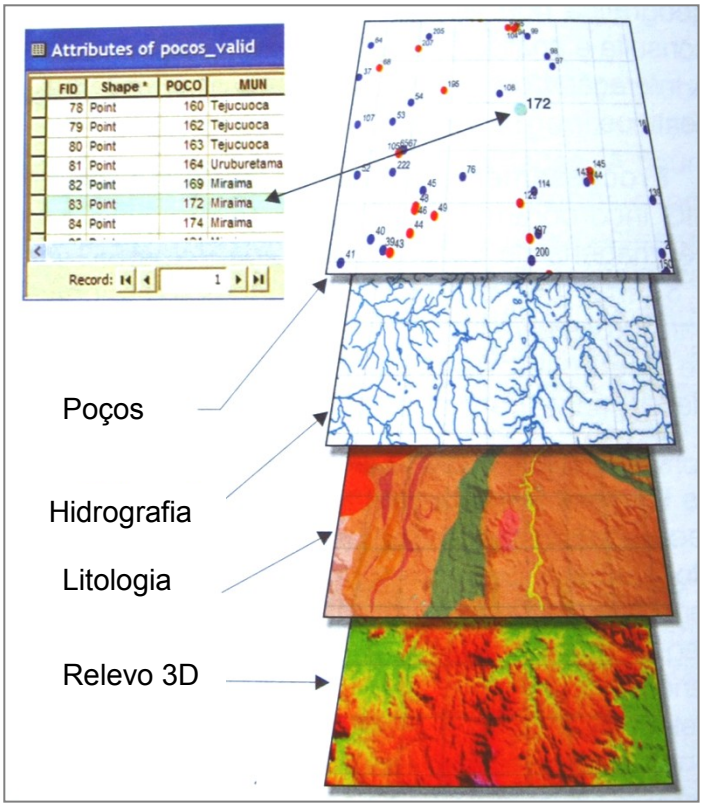

Figura 2. 5 - - Estrutura de Armazenamento de dados geográficos em SIG. Notar o relacionamento biunívoco entre um objeto geográfico (poço) e um registro na Tabela de atributos. Fonte: Gomes (2008).

Este autor coloca que, em um SIG, a realidade é representada geometricamente em duas estruturas básicas de dados: o modelo vetorial e o modelo matricial, também designado de *raster*. Na estrutura vetorial os fenômenos do mundo

real são representados pelas primitivas geométricas do espaço bidimensional (ponto, linha e polígono). Já no modelo matricial, as unidades básicas de representação são as células ou *pixel* definidas pelo o cruzamento de linhas e colunas cujos números correspondem às coordenadas y e x respectivamente. Além dos valores que definem o número da linha e o número da coluna, cada *pixel* apresenta um valor referente ao seu atributo denominado número digital, ND. Na Figura 2.6, demonstra a representação geométrica de diversos elementos nos formatos vetorial e matricial.

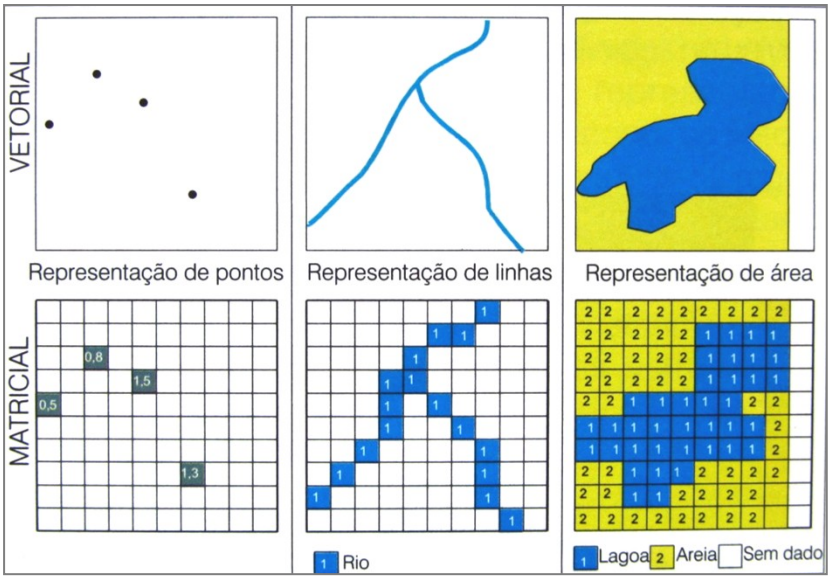

Figura 2. 6 - Representações de pontos, linhas e polígonos nos modelos vetorial e matricial. Fonte: Gomes (2008).

Estas características inerentes a um SIG lhe conferem inegável vantagem na análise conjunta do meio físico e socioeconômico em comparação com técnicas tradicionais de integração de dados.

O mecionado autor ressalta, ainda, que a tecnologia SIG é transversal a vários ramos do conhecimento, não constituindo um fim em si mesma e, mais que um conjunto de ferramentas para tratar um dado espacial, é um ambiente de solução de problemas. Neste ponto, é válido salientar que a qualidade das informações geradas em ambiente SIG está intimamente relacionada com o grau de acurácia dos dados utilizados que, por sua vez, é reflexo da seriedade e competência do pesquisador.

2.3.3 Modelo Numérico de Terreno

Um Modelo Numérico de Terreno (MNT) é uma representação matemática computacional da distribuição de um fenômeno espacial que ocorre dentro de uma região da superfície terrestre. A posição espacial sobre a superfície é representado pelos eixos de coordenadas (x, y) e o valor atribuído ao fenômeno é representado pelo eixo z (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2000).

A geração de um MNT envolve duas etapas: aquisição das amostras ou amostragem e geração do modelo propriamente dito ou interpolação (SOUSA; SILVA; COSTA, 2012). Uma vez gerado, o modelo se presta a inúmeras aplicações, tais quais, representação de dados referentes ao relevo, à geologia, à meteorologia, bem como, dados geofísicos e geoquímicos.

As fontes mais comuns de amostras de modelos digitais de terrenos são os arquivos digitais, importados de outros sistemas; bases topográficas com isolinhas e pontos notáveis de máximos e mínimos e; levantamentos em campo transformados, de alguma forma, em informação digital. Um conjunto de amostras pode ser obtido, ainda, a partir de pares estéreos de imagens de sensoriamento remoto, imagem de radar e dados de scanners Laser (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, op. cit.).

De acordo com Namikawa et al. (2003 apud SOUSA; SILVA; COSTA, 2012), a interpolação envolve a criação de estruturas de dados e a definição de superfícies de ajuste com o objetivo de se obter uma representação contínua do fenômeno a partir das amostras. Essas estruturas são definidas de forma a possibilitar uma manipulação conveniente e eficiente dos modelos pelos algoritmos de análise contidos em Sistema de Informação Geográfica.

As estruturas de dados mais utilizadas são as grades regulares e a malha triangular. A grade regular corresponde a uma estrutura matricial que contém pontos tridimensionais regularmente espaçados no plano xy, tendo como principais elementos o número de linhas e colunas, resolução horizontal e vertical, e o retângulo envolvente. Por sua vez, a malha triangular consiste em uma estrutura poliédrica na qual os elementos básicos são triângulos cujos vértices pertencem ao conjunto de amostras do modelo (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, op. cit.).

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Visando um recorte para investigação adequado à escala final de apresentação dos dados, este trabalho considerou, apenas, o alto curso do rio Brumado que vai desde a sua nascente, na serra das Almas, até o seu encontro com o rio do Paulo, na vizinhança da sede do município de Livramento de Nossa Senhora.

Feita esta consideração, será apresentada, a seguir, a situação geográfica da área, bem como, seus aspectos fisiográficos em escala regional.

3.1 Localização

A microbacia do alto rio Brumado, situada na mesorregião Centro-Sul da Bahia, encerra uma área de 680 km² e está inserida na bacia hidrográfica do rio de Contas.

Abrange duas sedes municipais, Livramento de Nossa Senhora e Rio de Contas. Esta última dista 550 km de Salvador, e tem como seu único acesso por via terrestre a rodovia estadual BA-148 (Figura 3.1).

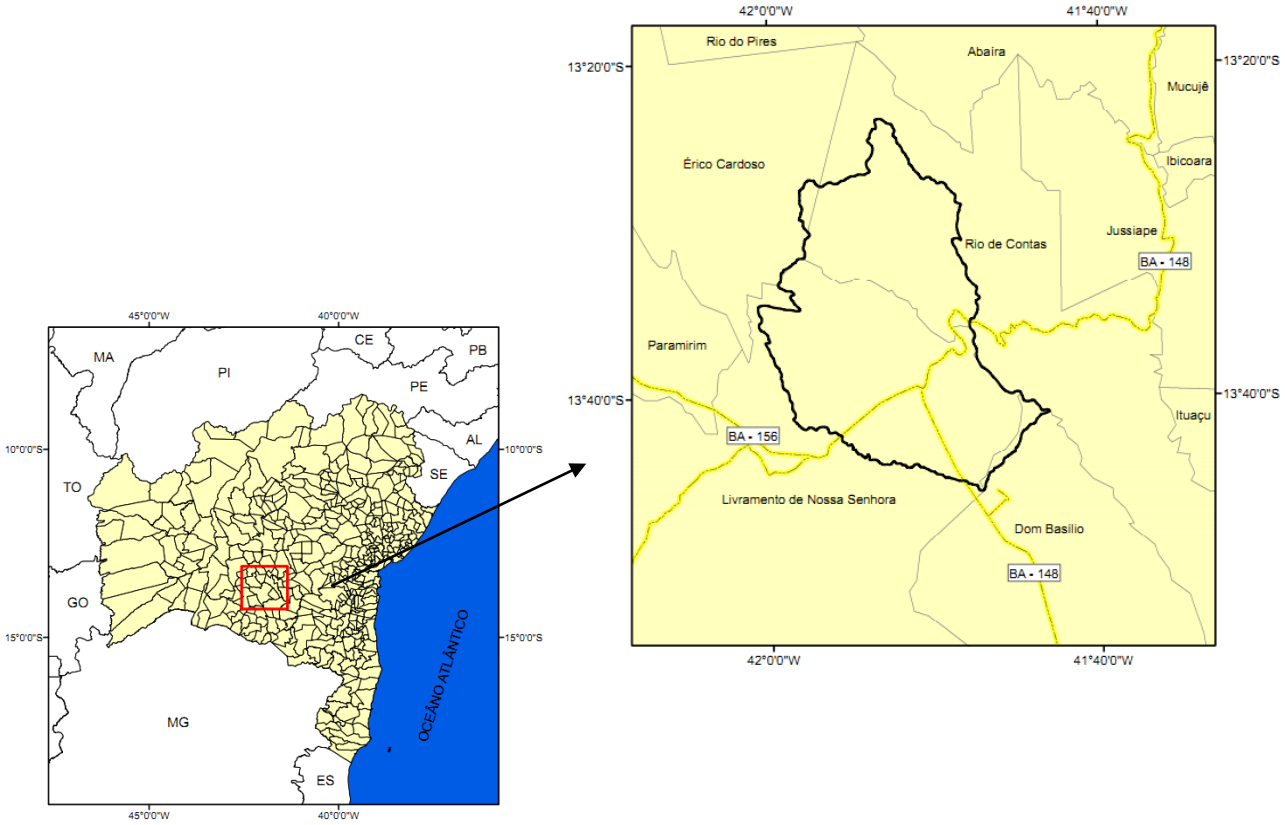

Figura 3. 1 - Localização da área de estudo. Em destaque (negrito) o contorno da microbacia do alto curso do rio Brumado.

3.2 Aspectos Fisiográficos

Neste item serão tratados os aspectos geológicos, geomorfológicos, pedológicos, fitoecológicos e climáticos da região em que se insere a microbacia pesquisada.

3.2.1 Geologia

A geologia da região tem como principal feição, o Aulacógeno do Paramirim - uma estrutura limitada pelas faixas brasilianas Riacho do Pontal e Rio Preto, a NNE, e Araçuaí a SSE; produto de riftes superpostos e parcialmente invertidos de idades paleo e neoproterozóicas (CRUZ; ALKMIM, 2005). De acordo com estes autores, é possível individualizar nesta estrutura uma zona de máxima inversão, de orientação NNW-SSE, designado Corredor de Deformação do Paramirim (ALKMIM; NEVES; ALVES, 1993), o qual abrange os blocos Gavião (parte) e do Paramirim, e os representantes dos supergrupos Espinhaço e São Francisco depositados nas bacias Espinhaço Setentrional e Chapada Diamantina Ocidental. A microbacia do rio Brumado situa-se na porção sudeste deste corredor (Figura 3.2).

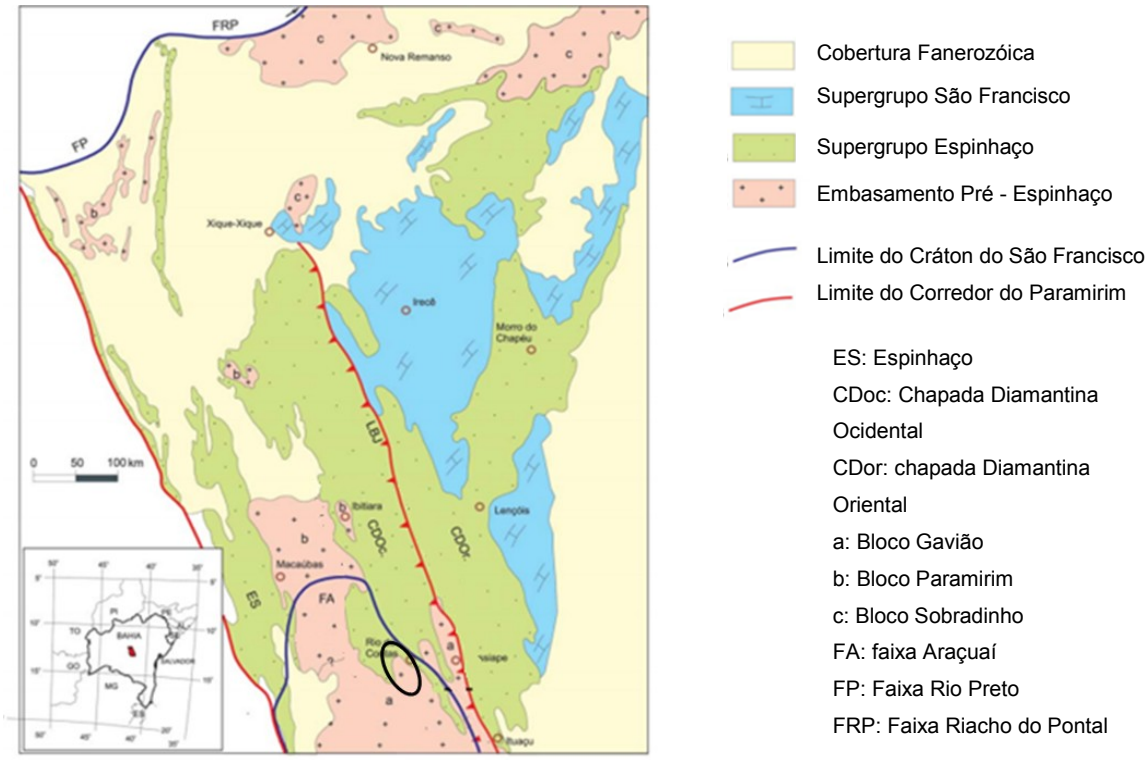

Figura 3. 2 - Arcabouço Geológico do Aulacógeno do Paramirim. Em destaque (elipse preta), a situação da microbacia do rio Brumado neste contexto. Fonte: Adaptado de Gumarães, Santos e Melo (2008).

Desta forma, a área em questão apresenta como subtrato geológico, além de coberturas fanerozóicas sotopostas ao Complexo Gavião, os litotipos do Supergrupo Espinhaço, depositados bacia intracratônica combinada do tipo *rift-sag*, denominada Espinhaço Oriental, que evoluiu em três fases tectônicas: pré-*rift,* sin-*rift* e pós-*rift* (GUIMARÃES; SANTOS; MELO. 2008).

Segundo estes autores, a fase pré-*rifte*, representada pelos metaquartzoarenitos da Formação Serra da Gameleira, é composta por depósitos eólicos relacionados a uma seqüência deposicional acumulada num espaço bacinal raso, derivado de flexura litosférica. A fase sin-*rifte* compreende duas etapas tectônicas: a primeira é representada por rochas vulcânicas/subvulcânicas ácidas e vulcanoclásticas, pertencentes à Formação Novo Horizonte; e a segunda por metarenitos intercalados a conglomerados, derivados de depósitos lacustres, de leques aluviais, flúvio-deltaicos e eólicos, pertencentes às formações Lagoa de Dentro e Ouricuri do Ouro, que integram o Grupo Rio dos Remédios. Esta fase foi inteiramente controlada por processos de subsidência mecânica. Já fase pós-rifte, caracterizada por uma bacia do tipo *sag*, compreende os metarenitos relacionados aos depósitos eólicos da Formação Mangabeira e os metarenitos, metarritimitos e metapelitos provenientes de depósitos marinhos rasos da Formação Açuruá. Conjuntamente, estas formações compõem o Grupo Paraguaçu.

3.2.2 Geomorfologia

A área em investigação compreende duas unidades geomorfológicas: Pediplano Sertanejo e Serras da Borda Ocidental (Figura 3.3).

O Pediplano Sertanejo corresponde a uma ampla superfície deprimida, cercada, em parte, por relevos planálticos de unidades adjacentes. Apresenta topografia, aproximadamente, plana, com altimetrias entre 400 e 600m, esculpida nas rochas do Complexo Gavião, que inclui núcleos TTGs e sequências supracrustais metamorfisadas e reequilibrada nas fácies granulito, anfibolito e xisto-verde.

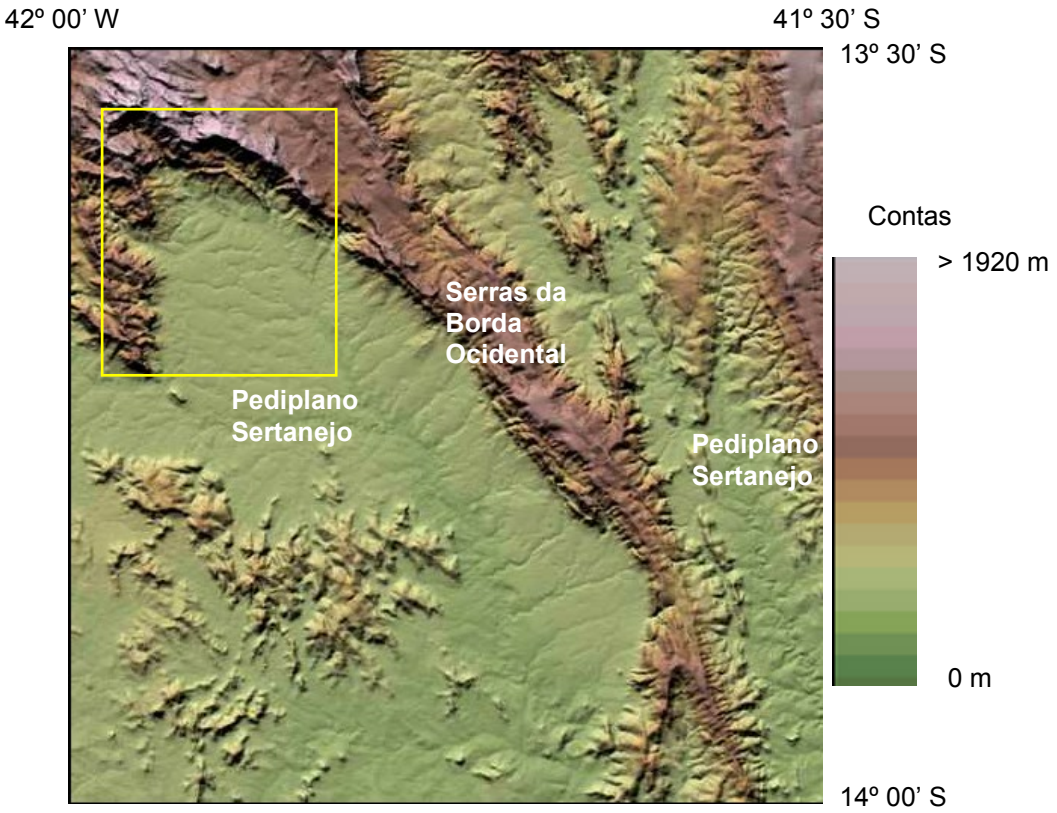

Figura 3. 3 - Contexto geomorfológico da área de estudo: unidade do Pediplano Sertanejo e Serras da Borda Ocidental. Em destaque (amarelo) a situação da microbacia em foco. Fonte: Adaptado de Miranda (2012).

Por sua vez, a unidade Serras da Borda Oriental engloba relevos montanhosos que se estendem na direção NNW-SSE. Suas posições altimetricas, frequentemente, estão cima de 1000m e apresentam as cotas mais elevadas do estado da Bahia, incluindo o pico do Barbados, com 2.033m e o pico das Almas, com 1.958m, localizados na serra da Mesa e das Almas, respectivamente.

A morfologia desta unidade foi esculpida, principalmente, sobre os metarenitos, metassiltitos, metargilitos, quartzitos e lentes de metaconglomerado do Supergrupo Espinhaço e caracteriza-se, sobretudo por elevações residuais correspondentes aos restos de flancos de dobras antigas.

3.2.3 Solos

As principais classes de solo encontradas na região onde se situa a microbacia em estudo são: Argilossolos Vermelho-Amarelo Eutróficos, Neossolos Litólicos Distróficos ou Álicos, Latossolos Vermelho-Amarelo Álicos ou distróficos (BRASIL, 1981).

Os Argilossolos Vermelho-Amarelo Eutróficos desenvolvem-se sobre os litotipos do Complexo Gavião que, essencialmente, constitui-se por ortognaisse migmatíticos de composição tonalítico-trondhjemítico-granodiorítica. Estes solos aparecem associados a áreas de relevo plano a suavemente ondulado, correspondendo a solos minerais, não hidromórficos, com horizonte B textural e saturação de bases superior a 50% (caráter eutrófico).

Os Neossolos Lítolicos formam-se sobre ao metarenitos, metargilitos, quartzitos e lentes metaconglomeráticas do Supergrupo Espinhaço. Ocorrem em relevo plano a escarpado, com as mais variadas classes de textura, apresentando freqüentemente característica de pedregosidade e rochosidade. São solos minerais, pouco desenvolvidos, rasos, que possuem sequência de horizontes A,C e R ou A e R, podendo, em alguns perfis, apresentar horizonte B incipiente. Na região, apresentam-se, ora álico (saturação de alumínio igual ou superior a 50%), ora distrófico (saturação por bases inferior a 50%).

Os Latossolos Vermelho-Amarelos estão associados a coberturas detrícas Tercio-Quaternárias, em áreas de relevo aplainado, tanto sobre os gnaisses migmatíticos do Complexo Gavião, quanto sobre as metassedimentares do Supergrupo Espinhaço. Correspondem a solos minerais, não hidromórficos, comumente profundos, a muito profundos, com boa porosidade, possuindo sequência de horizontes A, B e C, com pouca diferenciação entre eles, e cores variando entre o vermelho e amarelo com tons intermediários. Apresentam-se, ora álicos, ora distróficos.

3.2.4 Vegetação

Com base na classificação fitogeográfica empregada por BRASIL (1981), a área investigada encontra-se inserida em duas regiões fitoecológicas: Savana (cerrado), e Estepe (caatinga).

A Savana ocorre predominantemente, sobre as rochas metassedimentares do Supergrupo Espinhaço, correspondendo, geomorfologicamente, à unidade das Serras do Bordo Ocidental da Chapada Diamantina. Define-se como uma vegetação xeromorfa com fisionomias diversas, desde Arbórea Densa a Gramíneo-lenhosa. De modo geral, caracteriza-se por árvores de pequeno porte, isoladas ou agrupadas, sobre um tapete graminóide, serpenteada, eventualmente, por floresta de galeria.

A Estepe (caatinga) reveste principalmente os terrenos gnáissico-migmatíticos do Complexo Gavião, compreendendo, geomorfologicamente, à unidade dos pediplanos sertanejos. Corresponde a uma vegetação lenhosa, decidual, composta por muitas fenerófitas espinhetas, cactáceas suculentas, áfilas, com tufos, eventuais, de gramíneas.

3.2.5 Clima

A Chapada Diamantina caracteriza-se como uma barreira orográfica, influenciando, sobremaneira, a tipologia climática da região.

De acordo com dados pluviométricos históricos levantados por BRASIL (1981), o domínio ocidental dessa feição fisiográfica apresenta precipitação média anual de 1.130mm, distribuídos em seis meses de chuva: novembro, dezembro, janeiro, fevereiro, março e abril. Os meses mais secos correspondem a agosto e setembro. Assim, pela classificação de Koppen, este domínio enquadra-se no tipo climático Aw- clima tropical com estação seca de inverno.

Por sua vez, as áreas situadas a sotavento da Chapada Diamantina constituem uma zona de sombra de chuvas, apresentando precipitação média anual de 651 mm, distribuídos em três meses chuvosos: novembro, dezembro e janeiro. O período mais seco é representado pelos meses de abril, maio, junho, julho, agosto, setembro outubro. Portanto, segundo a classificação de Koppen, esta zona enquadra-se no tipo climático BSh- clima das estepes quentes de baixa latitude e altitude.

4 METODOLOGIA

As técnicas e métodos empregados na elaboração da carta de vulnerabilidade natural à erosão da microbacia do rio Brumado, adotando a escala de 1: 150.000 para a exibição final, podem ser ordenados nas seguintes etapas: Delimitação da Área de Estudo; Confecção dos Planos de Informação; Integração dos Dados em Sistema de Informação Geográfica (SIG).

Todas as etapas foram executadas com auxílio do software ArcGIS, versão 9.3, um SIG desenvolvido e distribuído pela empresa ESRI, com diversas ferramentas para o gerenciamento, criação, visualização e análise de dados espaciais (vetoriais e matriciais), bem como, para a confecção de documentos cartográficos.

4.1 Delimitação da Área de Estudo

O contorno da microbacia do rio Brumado e a rede de drenagem foram gerados, automaticamente, por meio de um Modelo Numérico de Terreno (MNT) processado com auxílio do conjunto de ferramentas *Hidrology* disponíveis no software em uso.

O MNT utilizado foi adquirido, gratuitamente, no portal da Embraba Monitoramento por Satélite. Este modelo foi gerado por interferometria, processo pelo qual o sinal emitido é recebido por duas antenas separadas por uma distância fixa (60 m), permitindo assim o cálculo da elevação da superfície, com uma acurácia vertical absoluta de 16 metros, ou seja, 90% de confiança (MIRANDA, 2012).

Destaca–se, ainda, que o MNT em questão é produto da missão de mapeamento do relevo terrestre SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), desenvolvido pela NASA (National Aeronautics and Space Administration) e NGA (National Geospatial-Intelligence Agency) dos Estados Unidos no ano 2000 (MIRANDA. Op. cit.).

A resolução espacial deste produto (aproximadamente 90 metros) mostra-se incompatível com escala adotada para exibição final dos resultados (1: 150.000). Desta forma, foi feita uma interpolação, a partir dos pontos obtidos pela conversão do

MNT em dado vetorial, a fim de alcançar uma resolução espacial de 30 metros, compatível com a escala adotada[1].

O objetivo da interpolação espacial é criar uma superfície que estima o comportamento de um determinado fenômeno com base numa amostra de valores com uma localização geográfica (CAEIRO, 2009). Em outras palavras, busca estimar valores desconhecidos que se situam entre valores conhecidos.

Para a este procedimento, optou-se por um método de interpolação muito aceito e utilizado atualmente nas geociências, o da Curvatura Mínima ou Spline (EMERY; THOMPSON, 1997 apud MAZZINI; SCHETINI, 2009). Segundo Caeiro (2009), este método ajusta uma superfície sobre os pontos de valores conhecidos passando em todos os pontos e podendo, até, exceder o intervalo de valores da amostra. Para Emery e Thompson (1997 apud MAZZINI; SCHETINI, 2009), embora o spline não seja um interpolador exato, tem como vantagens a boa convergência, aproximações precisas das derivações, e boa estabilidade na presença de erros de aproximação.

O contorno da microbacia e a rede de drenagem gerados, bem como, o MNT utilizado podem ser observados na Figura 4.1.

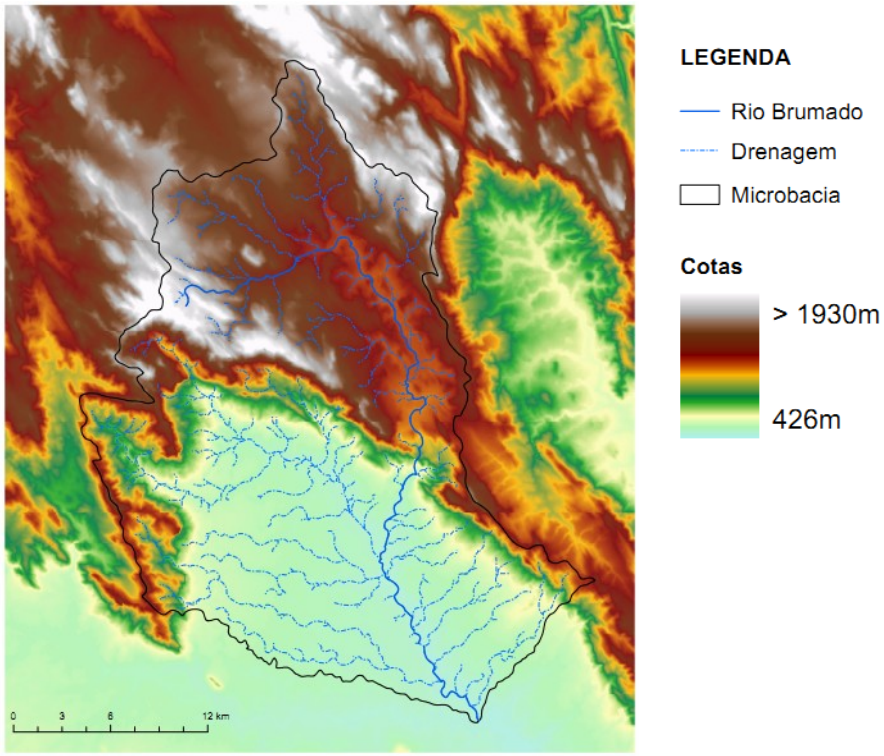

Figura 4. 1 - Contorno da microbacia do rio Brumado, rede de drenagem e MNT (SRTM).

[1] Este valor é baseado na acurácea visual, isto é, o menor elemento que se consegue representar, sendo estabelecido 0,2mm da escala mapa (MOURA, 2009 apud RIOS, 2011).

4.2 Confecção dos Planos de Informação

A confecção dos planos de informação (vetoriais e matriciais) consiste em uma etapa crucial da metodologia ora apresentada, uma vez que se trata da aquisição e interpretação das características dos elementos que compõem a paisagem em foco. Portanto, o conhecimento teórico-técnico e o comprometimento do interprete com os padrões científicos, são imprescindíveis na coerência entre as informações levantadas e a realidade em investigação.

Diante da escassez de bases cartográficas e banco de dados referentes ao meio físico em escalas adequadas (detalhe, semidetalhe), fez-se necessário o uso de técnicas de geoprocessamento aplicadas em imagens de sensoriamento remoto multiespectrais e MNT.

Para tanto, foram adquiridas, gratuitamente, imagens do satélite Landsat 5 (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2012). Uma vez que a microbacia hidrográfica do rio Brumado está situada no limite entre duas cenas, foi necessário adquirir duas imagens deste satélite, sendo realizado, posteriormente, um mosaico controlado.

Para aplicação desta técnica, as imagens teriam que atender a duas condições simultaneamente: serem captadas na mesma data e apresentar 0% de cobertura de nuvens na área de interesse. Assim, foram escolhidas as imagens registradas em 12 de agosto de 2005.

Adicionalmente, foi feita uma composição com as bandas 5, 4 e 3 destas imagens nas cores vermelho, verde e azul respectivamente (5R4G3B), como sugere Crepani et. al. (2001). Os autores justificam a escolha desta composição pela relação entre as cores associadas às respostas espectrais dos alvos e a subjetividade do interprete: O verde é atribuído à faixa onde é mais evidente a resposta refletida pela vegetação, permitindo assim uma associação direta dos matizes do verde com as diferentes densidades de cobertura vegetal. Os matizes do magenta (azul + vermelho), relacionados à faixa cuja maior reflectância é dada pelo solo arenoso, identificam áreas com exposição de solo ou rocha, com reduzida cobertura vegetal. Os matizes de azul se relacionam com a água e o seu relativo conteúdo em sedimentos.

Na Figura 4.1 pode ser visto o mosaico feito com a composição de bandas das imagens do satélite Landsat 5.

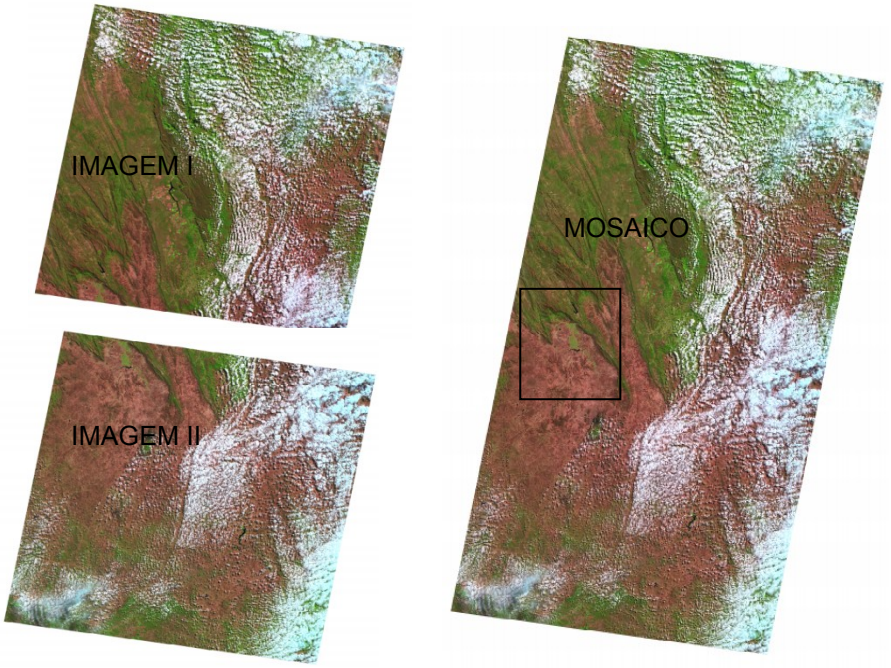

Figura 4. 2 - Mosaico com a composição de bandas (5R4G3B) das imagens do satélite Landsat 5. O retângulo indica a área de interesse.

A análise e interpretação destas imagens basearam-se nos critérios sistematizados de fotointerpretação de Soares e Fiori (1976 apud CREPANI et. al., 2001) e Veneziani e Anjos (1982 apud CREPANI et. al., op. cit.) que levam em consideração seus elementos fundamentais:

a) elementos de textura do relevo e drenagem que se reúnem e se dispõem na superfície da imagem segundo regras geométricas definindo estruturas e formas;
b) matizes de cores relacionados aos padrões de resposta espectral da vegetação, solo e água.

A respeito destes elementos fundamentais Crepani et. al. afirmam que:

> Os elementos de textura do relevo permitem identificar as quebras de relevo, positivas e negativas, muito importantes por marcarem, quase sempre, os limites onde se dão as grandes mudanças nas características que definem unidades de paisagem natural pela mudança da litologia, da declividade, do tipo de solo e, muitas vezes da cobertura vegetal (CREPANI et. al., 2001, p. 20).

Partindo dessas premissas, deu-se início a elaboração dos temas Geologia, Relevo, Solos, Vegetação e Clima.

4.2.1 Geologia

O tema geologia teve como base o mapa geológico produzido pelo Projeto Ibitiara - Rio de Contas (GUIMARÃES; SANTOS; MELO. 2008) em escala 1: 100.000. Embora a escala adotada para a exibição final deste trabalho (1: 150.000) seja menor do que a da base temática utilizada, optou-se por sua reinterpretação, buscando alcançar o máximo de fidedignidade à realidade pesquisada. Para tanto, fez-se uso da versão gratuita do software GoolgleEarth versão 6, desenvolvido e distribuído pela empresa Google (GOOGLE, 2012).

O GoogleEarth apresenta um modelo tridimensional do globo terrestre, construído a partir do mosaico de imagens de satélite obtidas de fontes diversas (GeoEye, SPOT, entre outros), imagens aéreas e SIG 3D (GOOGLE, 2012). O uso deste software tem sido atestado por diversos estudos ambientais (SIMON; CUNHA, 2008; PRINA et. al. 2011; SILVA et. al. 2011) por possibilitar o acesso à imagens georreferenciadas de alta resolução sem custos.

A partir deste modelo, utilizando os critérios de fotointerpretação já relacionados, foi possível reinterpretar os contornos das unidades litológicas cartografadas por Guimarães et. al., (2008).

O arquivo em formato *kmz,* produzido no GoogleEarth, foi transformado em dado vetorial no ArcGIS, possibilitando, assim, correlacionar os polígonos aos seus respectivos tipos litológicos em uma Tabela de atributos. Ressalta-se que, visando uma maior clareza e simplicidade da informação, a legenda do mapa original foi adaptada.

4.2.2 Relevo

Para o tema relevo, foi considerado o fator declividade, uma vez que este guarda relação direta com a energia cinética das águas pluviais, que pode ser traduzida como a capacidade das chuvas de retirar e transportar material (RIOS, 2011).

A declividade do terreno foi gerada automaticamente a partir do MNT com auxilio da ferramenta *Slope*, disponível no software ArcGIS. Deste modo, foram obtidas, em formato matricial, as classes de declividade.

4.2.3 Solos

É flagrante a escassez de bases temáticas pedológicas em escala de detalhe e semidetalhe. Como solução, o tema solos foi criado, usando como orientação metodológica, a estreita relação litologia-solo-relevo, em conjunto com as informações levantadas por BRASIL (1981), sendo, portanto, um mapa esquemático.

Tendo em vista a natureza deste estudo, adotou-se, apenas o primeiro nível taxonômico do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006 apud INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2007), exceto, para o Neossolo, o qual foi possível estabelecer até o segundo nível categórico, que consiste em informação relevante para o objetivo deste estudo.

Resende *et. al*. (2007) esquematizam a tendência de ocorrência dos diferentes tipos de solo nos vários segmentos da paisagem (Figura 4.2). No entanto, é importante lembrar que a intensidade da atividade bioclimática, bem como, o material de origem e o tempo, também tem grande influência no grau de maturidade do solo.

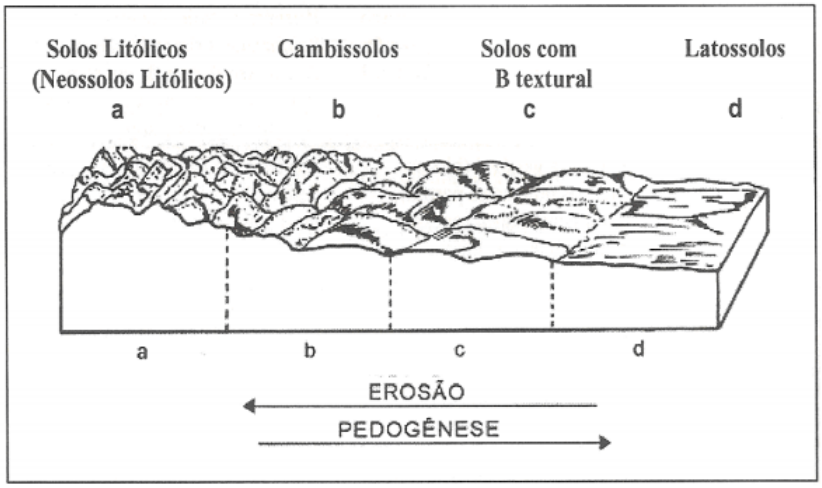

Figura 4. 3 - Bloco diagrama ilustrando a relação entre o relevo e a idade dos solos (taxa pedogênese/ erosão). As setas indicam o aumento da erosão e da pedogênese. Fonte: Resende et. al. 2007.

Levando em conta estas considerações, foram definidas quatro classes de solo para a área pesquisada: latossolos, argissolos, cambissolos e neossolos lítólicos.

4.2.4 Vegetação

Para confecção do tema vegetação, utilizou-se como recurso o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, tradução em português para Normalized Difference Vegetation Index (NVDI); bem como, a classificação supervisionada da composição de bandas das imagens do satélite Landsat 5, com base em informações adquiridas das imagens do Google Earth.

De acordo com Moreira (2005 apud VELASCO et. al. 2007), a vegetação é caracterizada por uma intensa absorção na faixa do vermelho (0,58 a 0,68μm), devido à clorofila, e por uma intensa reflexão na faixa do infravermelho próximo (0,76 a 1,35 μm) causada pela estrutura celular das folhas. A diferença entre estas bandas é proporcional à reflectância da imagem. Os dados de reflectância dos alvos podem ser transformados em índices de vegetação, os quais foram criados com o intuito de ressaltar o comportamento espectral da vegetação em relação aos demais alvos da superfície terrestre, sendo o NVDI um dos mais largamente utilizados.

O NVDVI consiste em uma equação que tem como variáveis as bandas do vermelho e infravermelho próximo, como se segue:

$$NDVI = IVP – V / IVP + V;$$

onde:
IVP: valor da reflectância da banda no Infravermelho próximo;
V: valor de reflectância da banda no vermelho

A distinção dos elementos naturais da paisagem – corpos d'água, vegetação gramíneo lenhosa, arbustiva e arbórea - foi feita a partir das classes do NVDI, para o período seco, determinadas por Oliveira Junior et. al. (2008), em estudo feito na região. Tais classes encontram-se sumarizadas na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Elementos da paisagem e suas respectivas classes do NVDI.

CLASSE NVDI	FEIÇÃO
-1,00 a -0,10	água / banco de areia
-0,10 a 0,12	afloramento rochoso/ solo exposto
0,12 a 0,35	vegetação gramíneo lenhosa
0,35 a 0,57	vegetação aberta
0,57 a 0,80	vegetação densa

Fonte: Oliveira Junior et. al. (2008).

Por sua vez, as informações sobre uso e ocupação da terra foram extraídas das imagens de alta resolução disponíveis no GoogleEarth, registradas em 07/11/2010, sobre as quais foi possível identificar, com clareza, áreas destinadas à pastagem, à agricultura, bem como, os polígonos de intervenção antrópica (sedes dos municípios de Rio de Contas e Livramento de Nossa Senhora).

De posse dessas informações, foi feita a classificação supervisionada da imagem, técnica na qual o software interpreta a imagem de forma automática, a partir do conjunto de amostras de pixel fornecido pelo intérprete, proporcionando uma classificação mais aferida.

4.2.5 Clima

O tema clima foi confeccionado usando como referência os histogramas pluviométricos anuais compilados por BRASIL (1981). Estes dados são referentes a duas estações pluviométricas representativas da área pesquisada, localizadas nos municípios de Piatã e Brumado.

Com base nestes dados e nas informações referentes à tipologia climática da região (BRASIL, op. cit.), foram definidos, por meio de edição vetorial, dois domínios climáticos na microbacia em questão: um correspondente a serra das Almas e o outro

a sotavento desta barreira orográfica. Esta configuração resulta em uma região com médias pluviométricas anuais de 1.130mm, distribuídos em seis meses chuvosos (Domínio I) e, uma zona de sombra de chuvas (Domínio II) com média pluviométrica de 650 mm/ano distribuídos em 3 meses de chuva, (Figura 4.4).

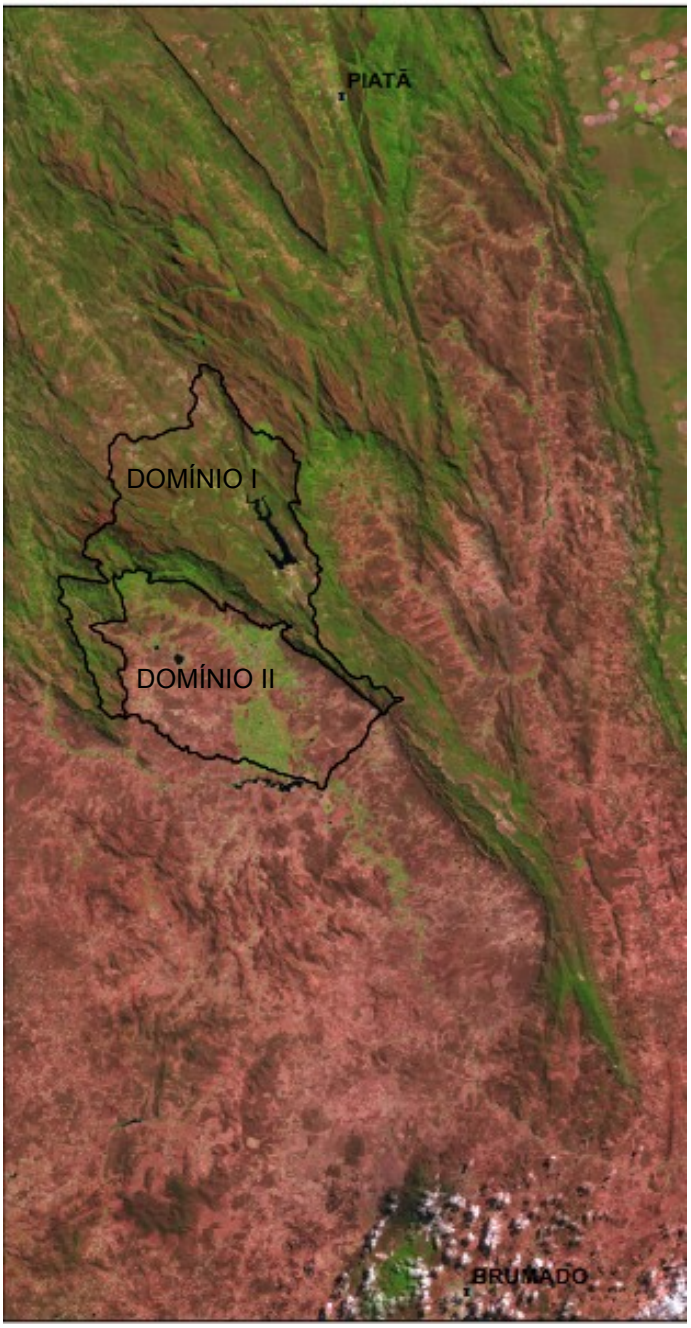

Figura 4. 4 - Domínios climáticos da microbacia do rio Brumado, definidos sobre o moisaico de imagens do satélite Landsat 5 (composição 5R4G3B), e a localização das estações pluviométricas analisadas (Piatã e Brumado).

Finalizada a confecção dos Planos de Informação, foi possível a delimitar as unidades de paisagem natural através da superposição destes temas.

4.3 Integração dos Dados em SIG

Dentre as diversas estruturas lógicas de análise e integração de dados ambientais em SIG, neste trabalho, optou-se pela Análise de Multicritérios.

> O procedimento de análise de multicritérios é muito utilizado em geoprocessamento, pois se baseia justamente na lógica básica da construção de um SIG: seleção das principais variáveis que caracterizam um fenômeno, já realizando um recorte metodológico de simplificação da complexidade espacial; representação da realidade segundo diferentes variáveis, organizadas em camadas de informação; discretização dos planos de análise em resoluções espaciais adequadas tanto para as fontes dos dados como para os objetivos a serem alcançados; promoção da combinação das camadas de variáveis, integradas na forma de um sistema, que traduza a complexidade da realidade; finalmente, possibilidade de validação e calibração do sistema, mediante identificação e correção das relações construídas entre as variáveis mapeadas (MOURA, 2007, p. 2900).

O presente estudo aplicou o modelo de análise de multicritérios desenvolvido por Crepani et. al. (1996; 2001). Neste modelo, os autores buscaram a avaliação, de forma relativa e empírica, do estágio de evolução morfodinâmica das unidades territoriais básicas, atribuindo valores de estabilidade às categorias ecodinâmicas, como disposto na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 - Avaliação da Estabilidade das Categorias Morfodinâmicas

Categoria Morfodinâmica	Relação Pedogênese/Morfogênese	Valor
Estável	Prevalece a pedogênese	1,0
Intermediária	Equilíbrio pedogênese/morfogênese	2,0
Instável	Prevalece a morfogênese	3,0

Fonte: Crepani et. al. (2001)

No intento de contemplar a maior variedade de categorias morfodinâmicas que ocorrem naturalmente, Crepani et. al. (1996; 2001) construíram uma escala de

vulnerabilidade que estabelece 21 classes distribuídas em situações onde há predomínio dos processos de pedogênese, situações intermediárias (equilíbrio pedogênese/morfogênese), situações nas quais os processos morfogenéticos prevalecem (Figura 4.5).

UNIDADE DE PAISAGEM	MÉDIA			GRAU DE VULNERAB.	GRAU DE SATURAÇÃO			
					VERM.	VERDE	AZUL	CORES
U1		3,0		VULNERÁVEL	255	0	0	
U2		2,9			255	51	0	
U3		2,8			255	102	0	
U4	V	2,7			255	153	0	
U5	U	2,6		MODERADAM. VULNERÁVEL	255	204	0	
U6	L	2,5	E		255	255	0	
U7	N	2,4	S		204	255	0	
U8	E	2,3	T		153	255	0	
U9	R	2,2	A	MEDIANAM. ESTÁVEL/ VULNERÁVEL	102	255	0	
U10	A	2,1	B		51	255	0	
U11	B	2,0	I		0	255	0	
U12	I	1,9	L		0	255	51	
U13	L	1,8	I		0	255	102	
U14	I	1,7	D	MODERADAM. ESTÁVEL	0	255	153	
U15	D	1,6	A		0	255	204	
U16	A	1,5	D		0	255	255	
U17	D	1,4	E		0	204	255	
U18	E	1,3		ESTÁVEL	0	153	255	
U19		1,2			0	102	255	
U20		1,1			0	51	255	
U21		1,0			0	0	255	

Figura 4. 5 - Escala de vulnerabilidade das unidades de paisagem natural. Fonte: Crepani et. al. (2001)

O valor dentro da escala de vulnerabilidade atribuído para cada unidade de paisagem natural é obtido por meio da equação empírica

$$V = \frac{(G + R + S + Vg + C)}{5}$$

onde:

V = Vulnerabilidade

G= vulnerabilidade para o tema Geologia

R= vulnerabilidade para o tema Relevo

S= vulnerabilidade para o tema Solos

Vg= vulnerabilidade para o tema Vegetação

C= vulnerabilidade para o tema Clima

Desta forma, deve ser atribuída uma nota dentro da escala de vulnerabilidade apresentada para cada tema que compõe as unidades territoriais básicas.

Esta avaliação foi executada através da técnica conhecida como álgebra de mapas que corresponde ao

> ...conjunto de procedimentos de análise espacial em Geoprocessamento que produz novos dados, a partir de funções de manipulação aplicadas a um ou mais mapas. Esta visão concebe a análise espacial como um conjunto de operações matemáticas sobre mapas, em analogia aos ambientes de álgebra e estatística tradicional. A Álgebra de Mapas compõe uma linguagem especializada para realizar operações que têm tanto um sentido matemático quanto cartográfico e espacial (BARBOSA *et.al*. 1998, p. 2 *apud* Rios, 2011).

A aplicação da álgebra de mapas em ambiente SIG exige que as informações estejam representadas em formato matricial, possibilitando que um novo conjunto de dados seja gerado a partir de operações algébricas (soma, subtração, multiplicação, divisão) com os valores do ND relacionado a cada *pixel* que compõe o plano informação, como ilustra a Figura 4.5.

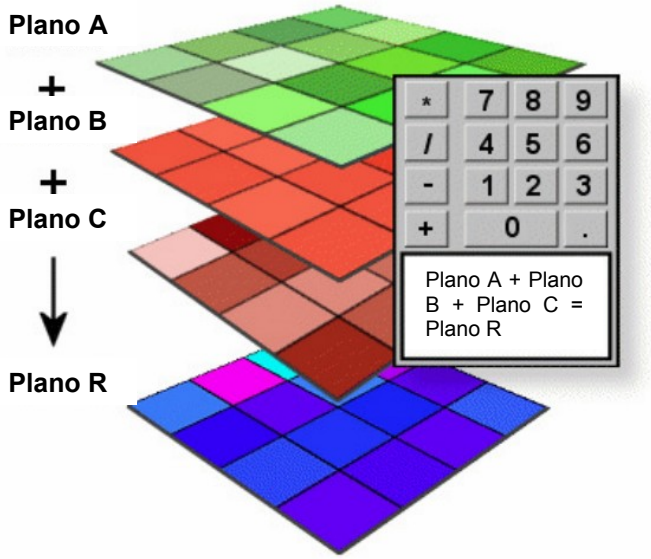

Figura 4. 6 - Representação da álgebra de mapas: plano A + plano B + plano C = plano R. Fonte: Adaptado de Caeiro (2009).

Tendo em vista estas considerações, procedeu-se o tratamento dos dados primeiramente convertendo os planos temáticos gerados em estrutura vetorial para o

formato matricial, função disponível no ArcGIS. Em seguida, foram atribuídas notas para cada tema de acordo com a proposta de Crepani et. al. (2001). Tais notas encontram-se sumarizadas na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 - Notas atribuídas às categorias temáticas: geologia, relevo, solo, vegetação e clima.

Geologia	**Nota**	**Vulnerabilidade**
Quartzitos e metaquartzoarenitos	1,0	Muito baixa
Quartzitos conglomeráticos	1,2	Muito baixa
Xistos	2,0	Méida
Dioritos/ gabros/ diabásios	2,5	Alta
Sedimentos inconsolidados	3,o	Muito alta
Declividade		
0-3%	1,0	Muito baixa
3-8%	1,5	Baixa
8-20%	2,0	Média
20-45%	2,5	Alta
45-75%	3,0	Muito alta
>75%	3,0	Muito alta
Solos		
	1,0	Muito baixa
Latossolos	2,0	Média
Argissolos	2,5	Alta
Cambissolos	3,0	Muito alta
Neossolos Litólicos		
Cobertura vegetal/ Uso do solo		
Vegetação arbórea densa	1,7	Baixa
Vegetação arbórea aberta	2,1	Média
Vegetação gramíneo-lenhosa	2,7	Muito alta
Pastagens	2,8	Muito alta
Cultura Perene	2,9	Muito alta
Clima		
175-200 mm/mês	1,6	Baixa
200-225 mm/mês	1,7	Baixa

Fonte: Extraído de Crepani et. al. (2001; 2008 apud RIOS 2011).

Por fim, foi efetuada a análise de vulnerabilidade natural à erosão da microbacia em foco, por meio da referida equação, aplicada com o auxílio da ferramenta de álgebra de mapas disponíveis no SIG utilizado.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados, ora apresentados, estão organizados em dois sub itens: Unidades Territoriais Básicas (UTB), e Vulnerabilidade Natural à Erosão na Microbacia do Rio Brumado.

5.1 Unidades Territoriais Básicas

No âmbito da microbacia do rio Brumado, foram distinguidas seis unidades de paisagem natural, bem como, dois polígonos de intervenção antrópica correspondentes às sedes dos municípios de Rio de Contas e Livramento de Nossa Senhora. Aqui será tratado, apenas, das unidades de paisagem natural, analisando as inter-relações dos elementos que as compõem.

5.1.1 Unidade I

A Unidade I, a maior dentre as unidades mapeadas, perfaz, aproximadamente, 46% da microbacia objeto deste estudo, ocupando toda sua porção sul, além de pequenas áreas a noroeste (Figura 5.1).

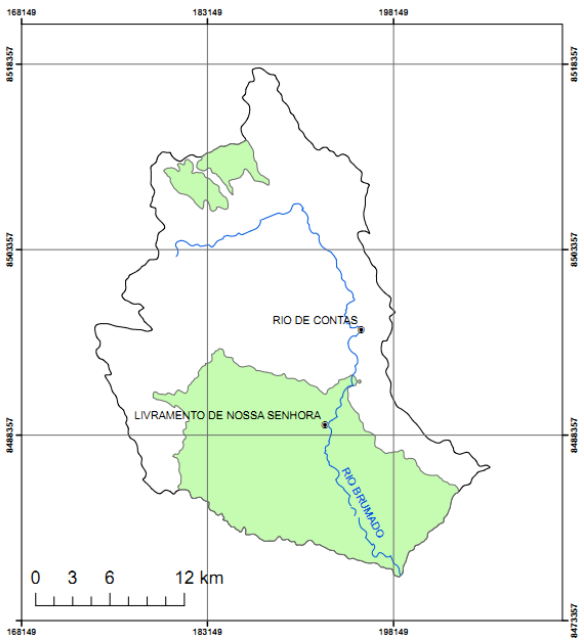

Figura 5. 1 - - Localização da Unidade I na microbacia do rio Brumado.

Como mostra a Figura 5.2, seu substrato é constituído por depósitos detrito-lateríticos distribuído em duas superfícies de aplanamento distintas (GUIMARÃES; SANTOS; MELO. 2008). A superfície mais elevada, esculpida sobre as rochas do Supergrupo Espinhaço, apresenta cotas entre 1.200m e 1.420m. Por sua vez a outra, instalada sobre as rochas do embasamento pré espinhaço, apresenta cotas entre 435 e 600m. Ambas possuem declividades inferiores a 8% (Figura 5.3).

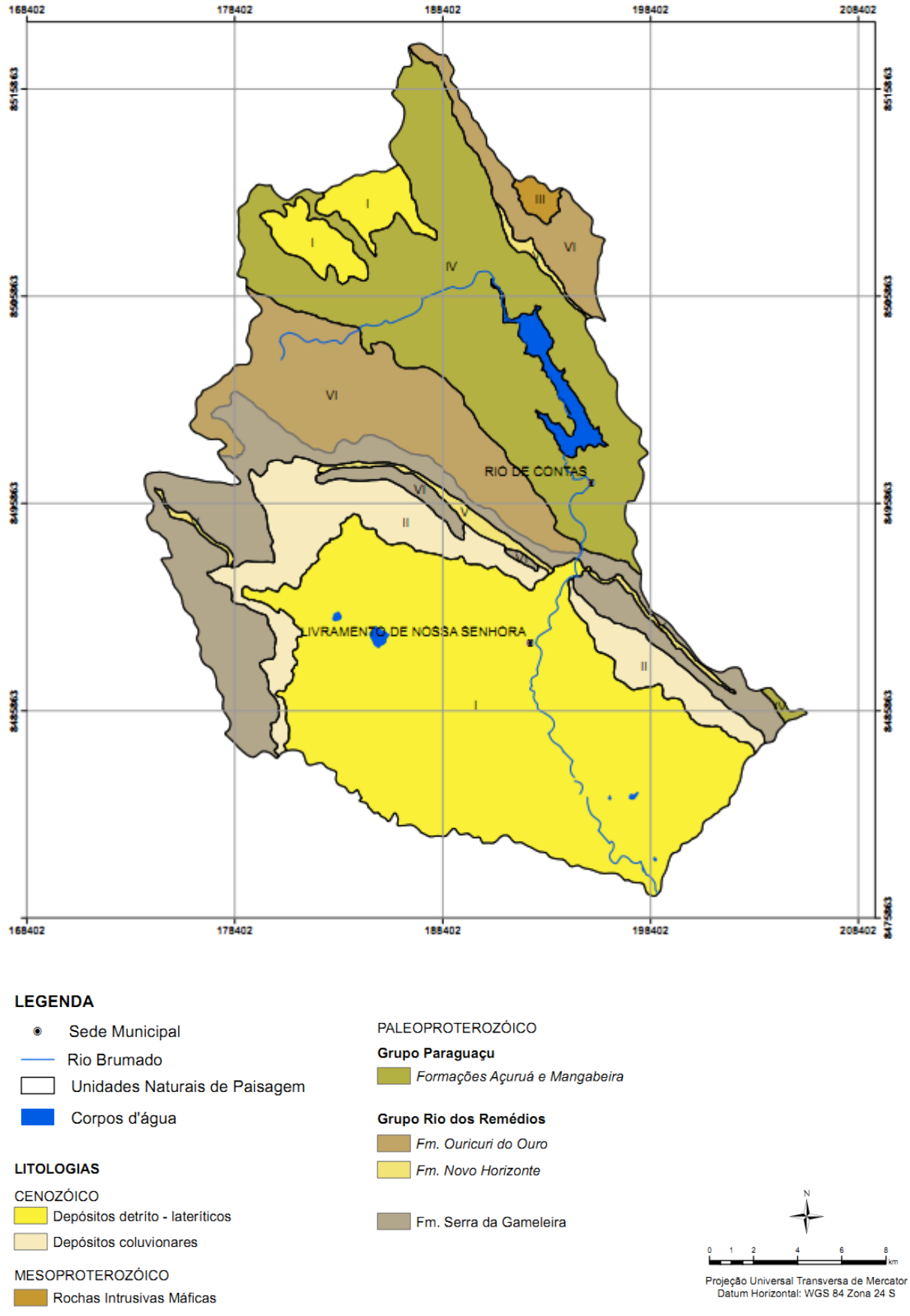

Figura 5. 2 - - Mapa geológico da área de estudo. Fonte: Modificado de Guimarães, Santos e Melo (2008).

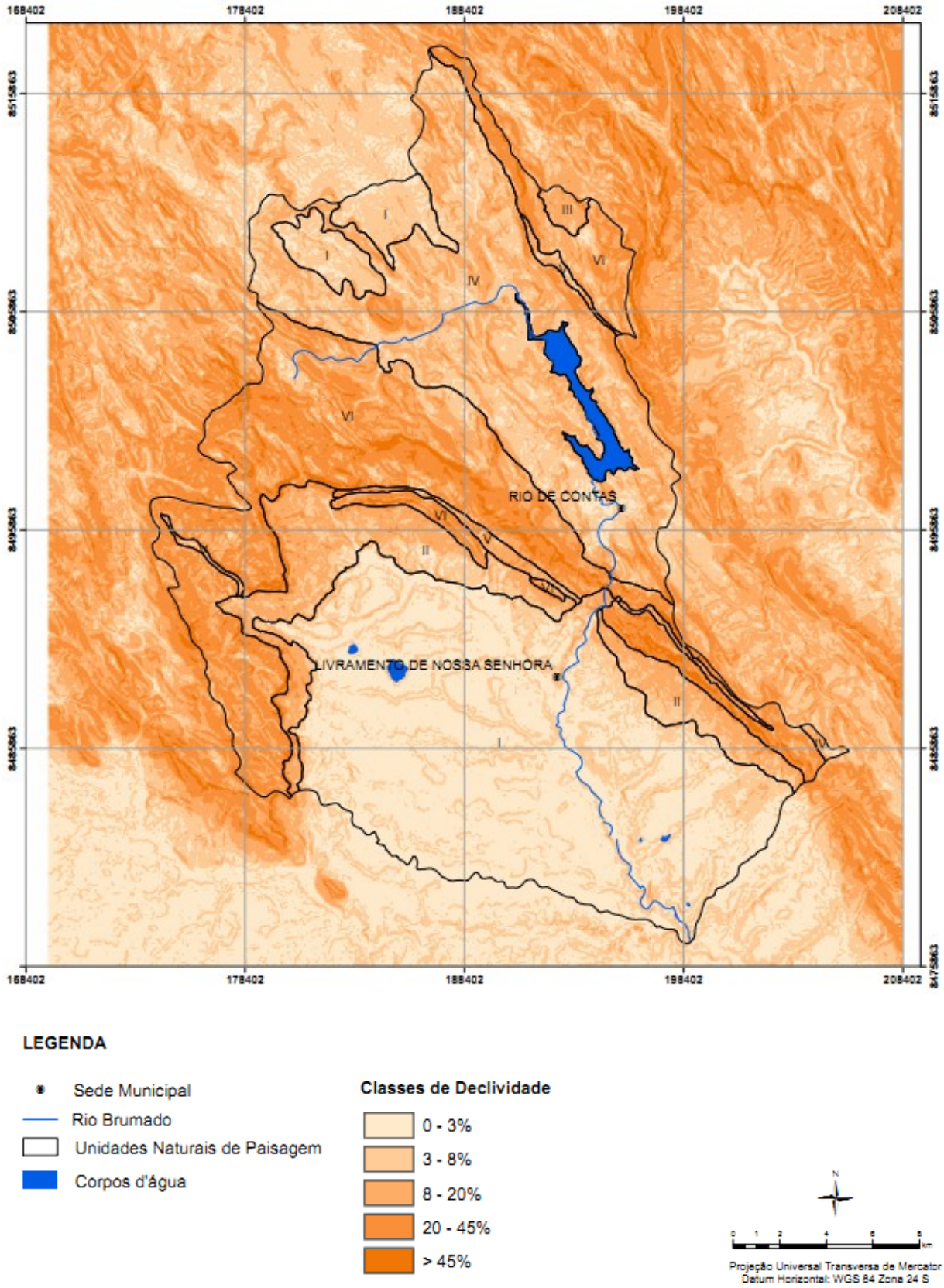

Figura 5. 3 - Mapa de declividade da microbacia do rio Brumado.

O caráter detrítico do substrato desta unidade concorreu para a formação de solos bem desenvolvidos pertencentes à classe dos Latossolos (Figura 5.4). A boa porosidade/permeabilidade destes solos e dos depósitos sobrejacentes, as baixas declividades e baixos índices pluviométricos favorecem a infiltração da água das chuvas, fato evidenciado pela baixa densidade da drenagem observada nas imagens de satélite.

As características morfológicas e pedológicas desta unidade lhe conferem bom potencial para ocupação humana. Assim, consiste na unidade de mais intensa intervenção antrópica marcada pela agricultura irrigada de frutíferas (manga e maracujá), áreas destinadas à pastagem, além do perímetro urbano da sede municipal de Livramento de Nossa Senhora. Não obstante, ainda são encontradas manchas de vegetação nativa caracterizada por espécies gramíneo-lenhosas (Figura 5.5).

5.1.2 Unidade II

A Unidade II representa, aproximadamente, 9% da microbacia em questão, posicionando-se no sopé das serras de Rio de Contas e das Almas, ocupando parte da porção central da área (Figura 5.6).

De acordo com Guimarães Santos e Melo (2008), seu substrato é composto pelos depósitos coluvionares provenientes da denudação das serras das Almas e do Rio de Contas (Figura 5.2). A natureza fragmentária, de baixa ou nenhuma coesão entre as partículas destes depósitos levaram à formação de um solo maduro, bem desenvolvido, correspondente à classe dos Latossolos (Figura 5.4).

O relevo desta unidade caracteriza-se por rampas de colúvio, cujas cotas variam entre 500m e 850m e, as declividades chegam até 20% (Figura 5.3).

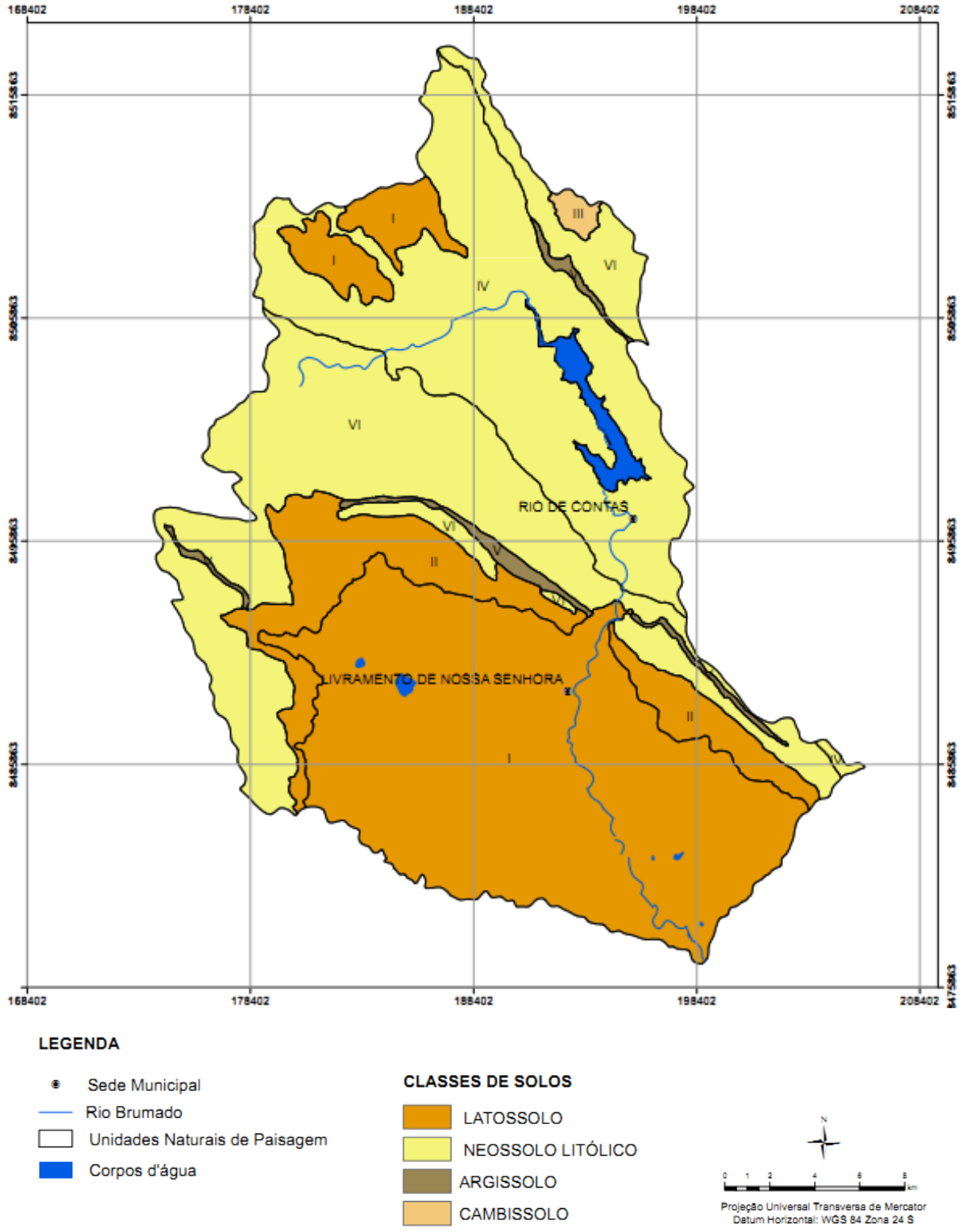

Figura 5. 4 - Mapa de solos da microbacia do rio Brumado.

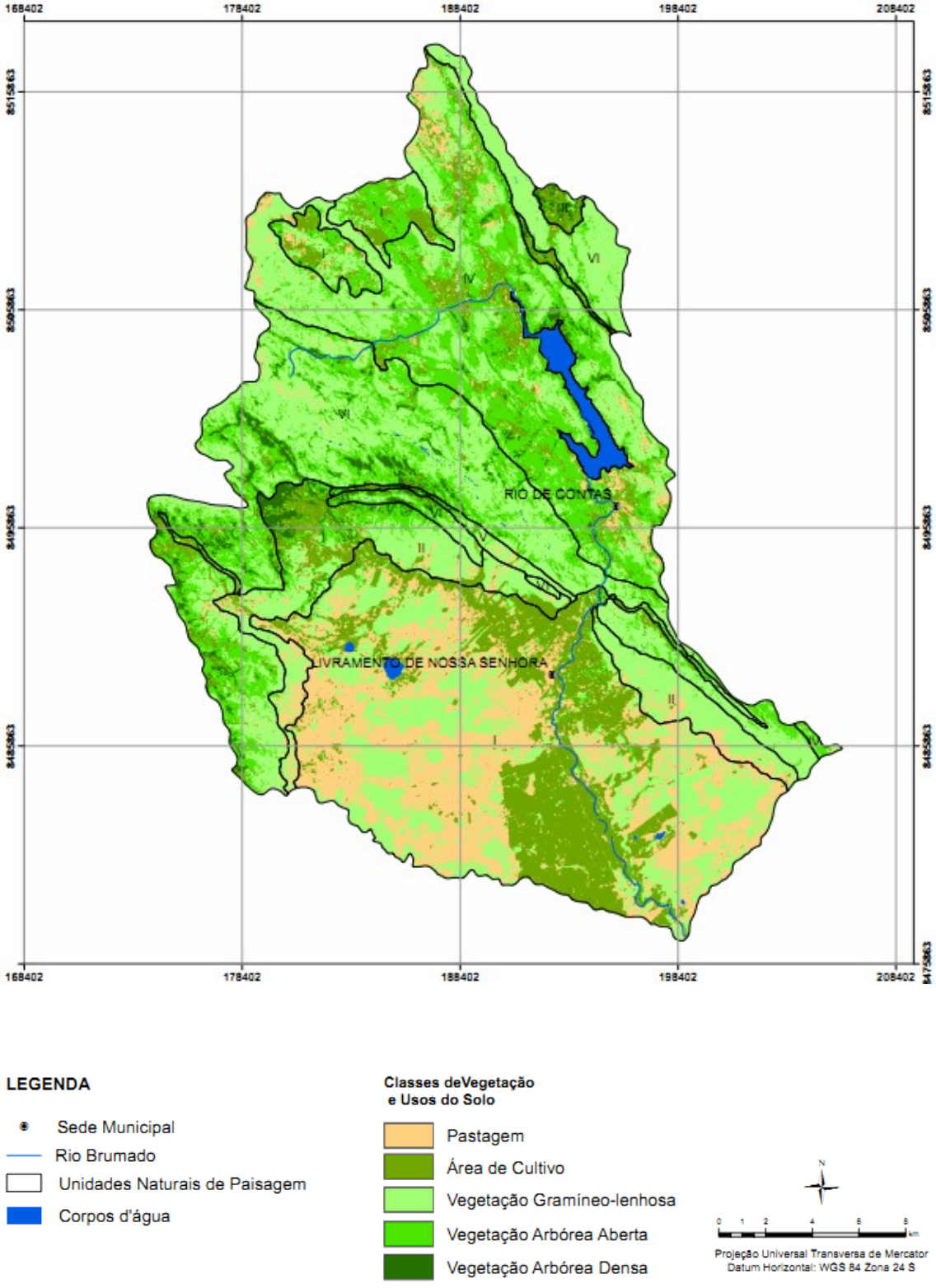

Figura 5. 5 - Mapa de vegetação e uso do solo da microbacia do rio Brumado.

A porosidade/permeabilidade da cobertura pedológica, bem como do deposito sedimentar sobreposto, favorecem a infiltração, no entanto, o posicionamento desta unidade no sopé das encostas provoca o acúmulo de umidade no solo que, por sua vez, promove a aceleração da sua saturação disponibilizando água para o escoamento direto e resultando numa maior sus cetibilidade à erosão laminar.

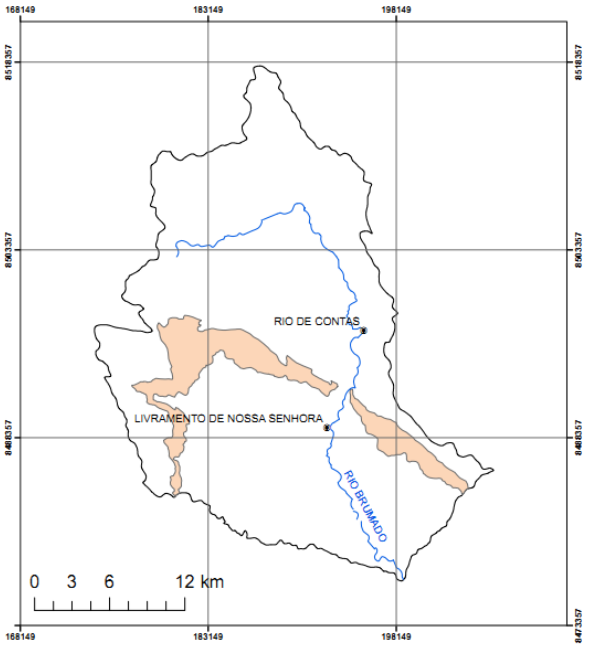

Figura 5. 6 - Localização da unidade II na área de estudo.

Parte dos terrenos desta unidade destina-se ao uso rural e, parte preserva sua cobertura vegetal nativa, caracterizada por espécies gramíneo-lenhosas (Figura 5.5).

5.1.3 Unidade III

A Unidade III localiza-se no extremo nordeste da microbacia do rio Brumado, representando menos de 1% desta (Figura 5.7).

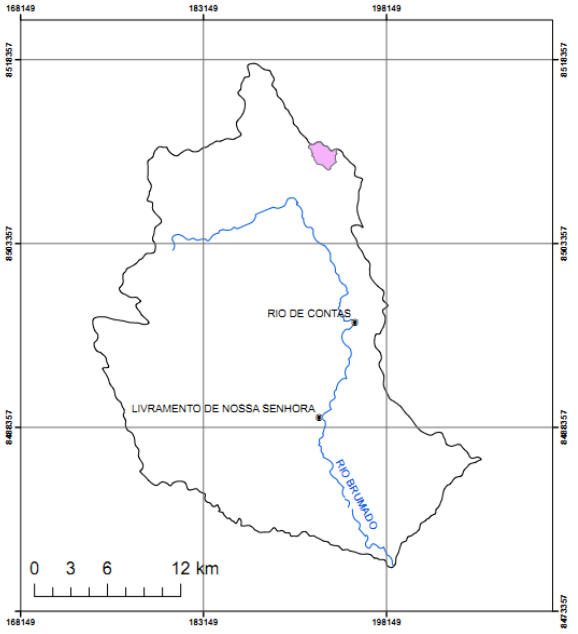

Figura 5. 7 - Localização da unidade III na área de estudo.

Tem como substrato litológico, rochas máficas intrusivas em todo pacote vulcanossedimentar do Supergrupo Espinhaço (GUIMARÃES; SANTOS; MELO. 2008), como pode ser visto na Figura 5.2. Embora estas rochas sejam constituídas, predominantemente, por minerais máficos, menos resistentes ao intemperismo, seu caráter massivo concorreu para a formação de um solo com pequeno grau de desenvolvimento, caracterizado por um horizonte B incipiente, classificado como cambissolo (Figura 5.4).

Morfologicamente, esta unidade se caracteriza por um relevo acidentado, formado por colinas e morros, com cotas em torno de 1500m e, declividades, em geral, entre 8% e 20% (Figura 5.5). O padrão de densidade da drenagem observada nas imagens de satélite denuncia boa porosidade da cobertura pedológica que favorece a infiltração, restringindo o escoamento direto às zonas que margeiam os cursos d'água e suas cabeceiras.

Os terrenos desta unidade destinam-se, predominantemente, ao uso rural, com destaque para a comunidade portuguesa de Mato Grosso, cuja principal fonte de renda é a cultura de hortaliças, flores e cafeeiros (Figura 5.6).

5.1.4 Unidade IV

A Unidade IV corresponde a, aproximadamente, 22% da microbacia em estudo, ocupando, praticamente, toda a sua porção norte e, uma pequena área a sudeste (Figura 5.8).

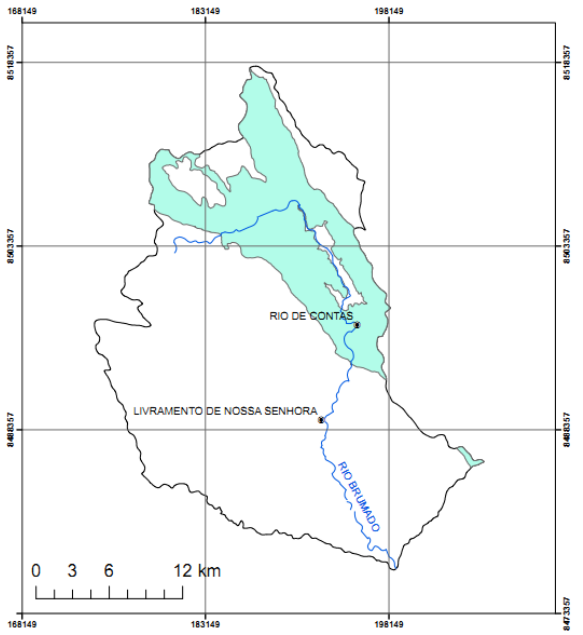

Figura 5. 8 - Localização da unidade IV na área de estudo.

Seu substrato geológico é composto pelos litotipos do Grupo Paraguaçu que consistem, essencialmente, em metarenitos com intercalações de metassiltitos e metargilitos (GUIMARÃES; SANTOS; MELO. 2008), como mostra a Figura 5.2. A alta suscetibilidade à erosão destas rochas, devido ao seu baixo grau de coesão, traduz-se em uma superfície de aplanamento, com cotas, majoritariamente, entre 1000m e 1400m e, declividades, e m geral, inferiores a 20% (Figura 5.3).

Este substrato rochoso deu origem a solos imaturos, com contato lítico dentro de 50 cm da superfície, designados Neossolos Litólicos (Figura 5.4). A alta porosidade/permeabilidade destes solos, bem como das rochas subjacentes, concorrem para o predomínio da infiltração e escoamento subsuperficial das águas

pluviais, o que é evidenciado pela densidade de drenagem grosseira e o pouco aprofundamento das incisões observadas na imagem de satélite.

Nesta unidade verificam-se diversos sítios de intervenção antrópica, tais quais, a sede do município de Rio de Contas, o Açude Brumado, uma pista de pouso, além de áreas destinadas ao uso rural. No entanto, ainda ocorrem áreas de vegetação nativa composta por espécies arbustivas e gramíneo-lenhosas, além de espécies arbóreas associadas aos cursos d'água (Figura 5.5).

5.1.5 Unidade V

A Unidade V encerra pouco mais que 1% da área pesquisada, correspondendo a estreitas faixas com trend NW-SE (Figura 5.9).

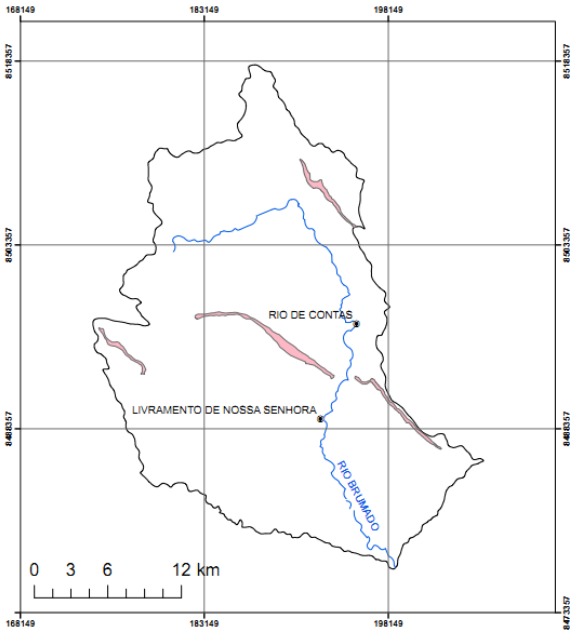

Figura 5. 9 - Localização da unidade V na área de estudo.

Apresenta, como substrato geológico, os quartzo-sericita xistos gerados pelas inúmeras zonas de cisalhamento que atravessam as rochas metavulcânicas ácidas da Formação Novo Horizont e (GUIMARÃES; SANTOS; MELO. 2008), como ilustra a Figura 5.2. Tal xistosidade facilita o acesso e percolação da água meteórica que, por sua vez, intensifica a ação do intemperismo. Assim, estes litotipos deram origem a solos maduros, com horizonte B textural, classificados como argissolos (Figura 5.4).

Esta unidade exibe relevo suave ondulado com cotas, em geral, em torno de 800m e declividades que não ultrapassam os 20% (Figura 5.3). Assim, constitui-se como um terreno favorável a ocupação humana, como atestam as áreas desmatadas e destinadas ao uso rural observadas (Figura 5.5).

Como em todo domínio da microbacia em estudo, a drenagem é fortemente controlada pelo arcabouço estrutural e mostra baixa densidade e fraco aprofundamento das incisões, o que denuncia o alto grau de porosidade da cobertura pedológica, aliado aos baixos índices pluviométricos, o que favorece a infiltração.

5.1.6 Unidade VI

A Unidade VI perfaz, aproximadamente, 26% da área total e configura-se em dois compartimentos, um na porção nordeste da microbacia e, outro correspondendo a uma faixa central com sentindo NW-SE (Figura 5.10).

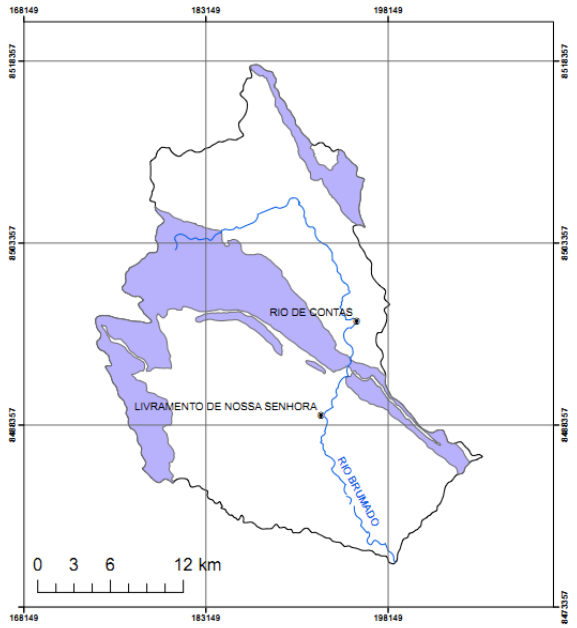

Figura 5. 10 - Localização da unidade VI na área de estudo.

Seu substrato litológico é composto, essencialmente, pelos metaquartzoarenitos das formações Serra da Gameleira e Ouricuri do Ouro (GUIMARÃES; SANTOS; MELO. 2008), como mostra a Figura 5.2. Tais rochas apresentam baixa suscetibilidade à denudação devido ao alto grau de coesão entre seus grãos constituintes, e à alta resistência do quartzo ao intemperismo.

A ação da pedogênese sobre estes litotipos originaram solos pouco desenvolvidos, com contato lítico dentro de 50 cm da superfície, sendo classificados, portanto, como Neossolos Litólicos (Figura 5.4).

Morfologicamente, esta unidade caracteriza-se por um arranjo de cristas com topos, ora aguçados, ora convexos, e vales bem definidos, resultante da erosão fluvial fortemente controlada por estruturas geológicas. Apresenta as cotas mais elevadas da área pesquisada, associadas às serras das Almas e do Rio de Contas, chegando a mais de 1900m de altitude. Tais feições de relevo consistem em uma escarpa erosiva formada a partir do aproveitamento dos planos de falha reversa de alto ângulo, o que justifica as altas declividades observadas na Figura 5.3.

A drenagem paralela exibe nas imagens de satélite um padrão de densidade classificada como grosseiro e fraco aprofundamento das incisões. Isto se deve à alta porosidade/permeabilidade do substrato rochoso e do solo que favorecem a infiltração e o escoamento subsuperficial, acarretando em menor disponibilidade de água para o escoamento direto, que se limita ás zonas que margeiam os cursos d'água e suas cabeceiras.

Devido às altas declividades, majoritariamente entre 20% e 45%, e aos solos de baixo potencial agrícola, esta unidade preserva sua cobertura vegetal primária, composta, principalmente, por espécies de pequeno porte (gramíneo-lenhosa) e, localmente, espécies arbustivas e arbóreas (Figura 5.5).

5.2 Vulnerabilidade Natural à Erosão na Microbacia do Rio Brumado

Na área em investigação, foram identificados, dois diferentes estágios de evolução morfodinâmica: um mais próximo da estabilidade, marcado por médias entre 1,7 e 2,2; e outro mais instável representado por médias entre 2,2 e 2,6 (Apêndice A).

As unidades II, V, VI apresentaram médias entre 1,7 e 2,2, indicando o equilíbrio morfogênese/pedogênese, sendo consideradas, por tanto, terrenos medianamente estáveis.

Cabe ressaltar que, apesar das atividades e ocupação humana da microbacia em foco se concentrar, predominantemente, na unidade VI, esta se enquadra na categoria morfodinâmica intermediária o que nos leva a concluir que a configuração dos elementos que a constitui lhe confere grande capacidade de absorção destes impactos.

Já nas unidades I, III, IV, além de porções do terreno considerados medianamente estáveis, também foram identificadas áreas em que as médias ficaram entre 2,2 e 2,6, evidenciando a predominância dos processos morfogenéticos e qualificando estas áreas como moderadamente vulneráveis.

Nas zonas moderadamente vulneráveis da unidade I, observa-se uma associação de declividades altas a muito altas, cobertura vegetal de pequeno porte e solos rasos. Na unidade IV, este grau de vulnerabilidade pode ser explicado pela combinação de solos pouco desenvolvidos, substrato rochoso de baixa resistência ao intemperismo, médias a altas declividades e substituição da cobertura vegetal por culturas perenes e anuais.

A unidade III merece especial atenção, pois constitui, quase que integralmente, uma área moderadamente vulnerável. Embora apresente baixas declividades e a erosividade das chuvas da região seja baixa, o conjunto solos imaturos, substrato geológico de baixa resistência à denudação, e vegetação gramíneo-lenhosa, alternada por áreas de uso rural concorrem para a alta suscetibilidade desta unidade.

6 CONCLUSÃO

Considerando o papel desempenhado pela análise de vulnerabilidade nos estudos de cunho ambiental, os resultados desta pesquisa passam a constituir ferramentas importantes para a elaboração de planos de gestão do território e, consequente, promoção da qualidade ambiental no contexto da microbacia do rio Brumado.

A integração dos dados referentes à geologia, geomorfologia, solo, vegetação e clima permitiu a distinção de seis unidades de paisagem natural. Adicionalmente, foram identificados dois polígonos de intervenção antrópica, correspondentes às sedes municipais de Rio de Contas e Livramento de Nossa Senhora, contabilizando, assim, oito Unidades Territoriais Básicas.

Nas unidades de paisagem natural I, II e V constatou-se o equilíbrio entre os processos morfogenéticos e pedogenéticos. Portanto, do ponto de vista ecodinâmico, estas áreas se caracterizam como medianamente estáveis.

Nas unidades III, IV e VI, além de setores medianamente estáveis, foram identificados locais em que os mecanismos modeladores da paisagem predominam, qualificando estes terrenos como moderadamente vulneráveis.

As ferramentas de geoprocessamento, aliadas ao conhecimento teórico-técnico da pesquisadora, contrabalançaram a baixa resolução espacial dos dados utilizados e a escassez de informações com o grau de detalhe adequado, permitindo retratar, com um bom grau de fidelidade, o comportamento morfodinâmico da paisagem investigada.

Dentro da escala adotada, a metodologia aplicada alcançou resultados bastante coerentes com a realidade. Contudo, é importante lembrar que esta metodologia se propõe a ser, apenas, uma primeira aproximação do objeto de interesse, não dispensando posteriores trabalhos de campo e estudos de maior detalhe.

REFERÊNCIAS

ALKMIM, F. F.; NEVES, B. B. B.; ALVES, J .A. C. Arcabouço Tectônico do Cráton do São Francisco: uma revisão. In: MISI, A.; DOMINGUEZ, J. M. L. (Ed.). **O Cráton do São Francisco**. Salvador: SBG, 1993. p. 45-62.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 7. ed. São Paulo: Ícone, 2010. 355 p.

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**: Conceitos, Temas e Aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. p. 269-300.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral. **Projeto RADAMBRASIL Folha SD. 24 Salvador:** geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1981.

CAEIRO, S. **Ferramentas do SIG**: aplicações. Lisboa: [s.n], 2009. Disponível em:<http://antoniofonseca.com/Unidades%20Curriculares/2Ano/Sistemas%20de%20Informacao%20Geografica/6%20Apontamentos/Textos/ArcGis3.pdf>. Acesso em: 23 mai. 2012.

CREPANI, E. et al. **Curso de Sensoriamento Remoto Aplicado ao Zoneamento Ecológico-Econômico**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1996. 24 f.

_____. **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao Ordenamento Territorial**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2001. 124 p.

CRUZ, S. C. P.; ALKMIM, F. F. A Interação Tectônica entre o Aulacógeno do Paramirim e o Orógeno Araçuaí-oeste Congo. In: SIMPÓSIO SOBRE O CRÁTON DO SÃO FRANCISCO, 3. 2005, Salvador. **Anais**... Salvador: CBPM, 2005. p. 215-218.

FIORI, A. P.; CARMIGNANI, L. **Fundamentos de Mecânica dos Solos e das Rochas**: aplicações na estabilidade de taludes. 2. ed. rev. e ampl. Curitiba: Ed. UFPR, 2009. p. 604.

FONSECA. A. C. Geoquímica dos Solos. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (Org). **Erosão e Conservação dos Solos**: Conceitos, Temas e Aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. p. 165 – 194.

GOMES, F. E. M. Geoprocessamento em Ambiente SIG Aplicado à Hidrogeologia. In: FEITOSA, F. A. C. et. al (Org. e Coord.). **Hidrogeologia**: conceitos e aplicações. 3. ed. rev. e ampl. Rio de Janeiro: CPRM/ LABHID, 2008. p. 293 - 319.

GOOGLE. **Download do Google Earth.** Disponível em: < http://www.google.com.br/intl/pt-BR/earth/download/ge/>. Acesso em: 02 jun. 2012.

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**: Conceitos, Temas e Aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. p. 17- 55.

GUIMARÃES, J. T.; SANTOS, R. A. dos; MELO, R. C. de (Org). **Geologia da Chapada Diamantina** (Projeto Ibitiara - Rio de Contas). Salvador: CBPM/CPRM, 2008. 68 p. (Série Arquivos Abertos).

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manuel Técnico de Pedologia**. 2 ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2007. Não paginado.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Modelagem Digital de Terrenos e Aplicações**. São José dos Campos: INPE, 2000. 111p.

_____. **Catálogo de Imagens**. Disponível em: < http://www.dgi.inpe.br > . Acesso em: 10 mar. 2012.

LEITE, C. E. S. Sensoriamento Remoto. In: FEITOSA, F. A. C. et. al (Org. e Coord.). **Hidrogeologia**: conceitos e aplicações. 3. ed. rev. e ampl. Rio de Janeiro: CPRM/ LABHID, 2008. p. 273 – 292.

LILESSAND, T.; KIFFER, R. W. Remote Sensing and Image Interpretation. 3. ed. New York: Jonh Wiley & Sons, 1994. 750 p.

LIMA, W. P. de; ZAKIA, M. J. B. Hidrologia de Matas Ciliares. Disponível em: < http://www.ipef.br/hidrologia/mataciliar.asp > . Acesso em: 13 de mai. 20012.

LOPES, E. S. S. **SPRING Básico**. Revisão de Hilcéa Santos Ferreira. São José dos Campos: INPE, 2009. 40 f.

MAFRA, N. M. C. Erosão e Planificação de Uso do Solo. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (Org). **Erosão e Conservação dos Solos**: Conceitos, Temas e Aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. p. 301-322.

MAZZINI, P. L. F.; SCHETTINI, C.A.F. Avaliação de Metodologias de Interpolação Espacial Aplicadas a Dados Hidrográficos Costeiros Quase-Sinóticos. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, Itajaí, 2009, v.13, n.1, p.53–64, 2009. Disponível em: < http://siaiweb06.univali.br/seer/index.php/bjast> . Acesso em: 27 mai. 2012.

MIRANDA, E. E. de; (Coord.). **Brasil em Relevo**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: < http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br >. Acesso em: 14 jun. 2012.

MOURA, A. C. M. Reflexões metodológicas como subsídio para estudos ambientais baseados em Análise de Multicritérios. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007. Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 2899 - 2906.

OLIVEIRA JUNIOR, I. de et. al. Mapeamento de áreas degradadas e com risco à desertificação no sudoeste baiano. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 13., 2009. Viçosa. **Trabalhos completos**... Viçosa: UFV, 2009. Disponível em: < http://www.geo.ufv.br/simposio/simposio/trabalhos/trabalhos_completos/eixo11/044.pdf >. Acesso em: 18 mai. 2012.

PRINA, B. Z. Análise Ambiental Urbana com o Uso de Imagens Google Earth. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011. Curitiba. **Anais**... São José dos Campos: INPE, 2011. p. 3806- 3811.

RESENDE, M. et. al. **Pedologia**: base para distinção de ambientes. 5. ed. Lavras: Ed. UFLA, 2007. 322 p.

RIOS, M. L. **Vulnerabilidade à Erosão nos Compartimentos Morfopedológicos da Microbacia do Córrego do Coxo/ Jacobina – BA**. 2011. 158 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

SALOMÃO, F. X. T. Controle e Prevenção dos Processos Erosivos. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (Org). **Erosão e Conservação dos Solos**: Conceitos, Temas e Aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. p. 229 – 267.

SILVA, E. B. da et. al. Monitoramento Ambiental Urbano por meio do Uso Combinado do ArcGIS e do Google Earth: o exemplo do cadastro de erosões. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOPROCESSAMENTO E SENSORIAMENTO REMOTO, 5., 2001. Feira de Santana: [s.n], 2011. p. 67 – 71.

SIMON, A. L. H.; CUNHA, C. M. L. da. Utilização de Imagens do Google Earth na Identificação de Feições Geomorfológicas Antropogênicas. In: SIMPÓSIO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA DO ESTADO DE SÃO PAULO, 1., 2008. Rio Claro: UNESP, 2008. p. 863 – 884.

SOUSA, C. J. S.; SILA, M. M.; COSTA, K. S. P. Análise do Modelo Numérico de Terreno do Radar SRTM na Área da Folha AS. 23-Z-D-I, Urbanoo Santos – MA. Disponível em: <http://www.geo.ufv.br/simposio/simposio/trabalhos/trabalhos_completos/eixo1/020.pdf.> Acesso em: 27 mai. 2012.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: SUPREN/IBGE, 1977. 97 p.

VELASCO, G. D. N et. al. Aplicação do Índice de Vegetação NVDI (Normalized Difference Vegetation Index) em Imagens de Alta Resolução no município de São Paulo e suas Limitações. **Revista da Sociedade Brasileira da Arborização Urbana**, v. 2, n. 3, 2007. p. 1 – 12.

APÊNDICE A - MAPA DE VULNERABILIDADE NATURAL À EROSÃO DA MICROBACIA DO RIO BRUMADO