

GEOPROCESSAMENTO NA MODELAGEM DA VULNERABILIDADE NATURAL À EROSÃO NO MUNICÍPIO DE MORRO DO CHAPÉU-BA

Geoprocessing in Modeling Vulnerability to Natural Erosion in the City of Morro do Chapéu – BA

Jocimara Souza Britto Lobão¹
Washington de Jesus Sant'Anna da Franca-Rocha²
Ardemírio Barros da Silva²

¹ **Universidade Estadual de Feira de Santana – UEFS**
Departamento de Ciências Humanas e Filosofia
BR 116 norte – Km 3 – Campus Universitário
juci.lobao@gmail.com

² **Universidade Estadual de Feira de Santana – UEFS**
Departamento de Ciências Exatas – Área de Geociências
BR 116 norte – Km 3 – Campus Universitário
francarocha@gmail.com
barros@uefs.br

RESUMO

Este trabalho visou definir uma metodologia para mapear a vulnerabilidade natural a erosão no município de Morro do Chapéu-BA, utilizando Sistema de Informações Geográficas - SIG com métodos multicriteriais (IMP – Inferência Média Ponderada) e de suporte à decisão (AHP - Análise de Processos Hierárquicos). A vulnerabilidade natural à erosão foi considerada, com base no balanço morfogênese/pedogênese, utilizando-se informações sobre a geologia, geomorfologia, solos, clima e uso de solo.

Palavras-Chave: Vulnerabilidade à Erosão, Sistema de Informações Geográficas, Morro do Chapéu.

ABSTRACT

This work had as its main goal the used to maper the natural vulnerability to erosion in the region of Morro do Chapéu-BA using Systems of Information Geographical. In this research natural vulnerability to erosion was considered based on the morphogenesies/pedogenesies balance, making use of information on the geology, geomorphology, soils, climate, vegetation and anthropic use of the area.

Keywords: Vulnerability to Erosion, Systems of Information Geographical, Morro do Chapéu.

1 - INTRODUÇÃO

“..., a crise ambiental problematiza os paradigmas estabelecidos do conhecimento e demanda novas metodologias capazes de orientar um processo de reconstrução do saber que permita realizar uma análise integrada da realidade”. (LEFF, 2002 p.60)

As geotecnologias têm contribuído de forma eficaz para garantir o sucesso das análises que envolvem variáveis espaciais. Inúmeros são os trabalhos que estão sendo realizados na área ambiental empregando essas novas tecnologias para subsidiar estudos ambientais. (BECKER, B. K.; EGLES, C. A. G., 1997; CAMARA, G., MEDEIROS, J. S., 1996; CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; HERMANDEZ F. P.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V.; AZEVEDO, L. G., 1989, LOBÃO, 2004, dentre outros). No entanto, as facilidades computacionais muitas vezes nos

conduzem a tantas possibilidades que torna-se necessário a discussão sobre qual(is) melhor(es) método(s) e técnica(s) a serem usados, a fim de evitar resultados discrepantes da realidade.

As técnicas e métodos a serem utilizados em modelagens ambientais devem ser criteriosos sem, no entanto, se tornarem complexos a ponto de impossibilitar sua utilização mais ampla. Cada ambiente é único e cada realidade é uma singularidade que reflete a parte de um todo. Logo, em se tratando de análises ambientais não deve haver uma receita a ser seguida, mas é fundamental que haja uma sistematização do processo de forma que se possa controlar cada etapa do trabalho primando por um modelo que mais se aproxime da realidade.

Este estudo utiliza Sistema de Informações Geográficas - SIG, nas análises ambientais com métodos multicriteriais e de suporte à decisão por meio de um estudo de caso que objetiva mapear a vulnerabilidade natural à erosão no município de Morro do Chapéu. Para este mapeamento combinou-se a técnica de Inferência Média Ponderada – IMP (SILVA, 1999), visando eliminar as ambigüidades nas operações algébricas cumulativas entre mapas, com técnica apoio à decisão baseada no método de Análise de Processos Hierárquicos – AHP. Desta forma, o objetivo do trabalho foi mapear vulnerabilidade natural à erosão por meio de técnicas de apoio a decisão com base em geotecnologias.

O mapeamento à vulnerabilidade à erosão é de extrema importância para gestores, planejadores no ordenamento territorial, pois este mapeamento pode também melhor direcionar essas ações. Por isso, há uma constante necessidade de acompanhar esse processo que se intensifica, principalmente, em função das ações humanas.

2 – ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo compreende todo o Município de Morro do Chapéu, que possui uma população de 35.334 habitantes (IBGE, 2003), distribuída numa em 5.920 km², localizado ao norte da Chapada Diamantina entre as coordenadas 10° 46' e 12° 00' de latitude sul 41° 30' e 40° 42' de longitude oeste (Fig. 1). A região possui rara beleza cênica, possuindo diversas nascentes de rios das sub-bacias do Rio Jacaré, Salitre, Jacuípe e Utinga que desde a época do garimpo, iniciada por volta de 1600, até hoje, ainda tem sido explorada como se a natureza fosse uma fonte inesgotável de recursos.

Com desníveis topográficos que variam entre 480 a 1.293 m, este espaço possui enorme diversidade física natural, e se constitui em uma barreira orográfica, que proporciona grande variação de clima, solo, geomorfologia, hidrografia, etc... Esta diversidade dificulta a compreensão do meio ambiente, bem como sua gestão, pois se torna necessário propor ações diferenciadas para áreas específicas dentro do mesmo município.

Dentre seus aspectos físicos mais marcantes pode-se destacar a interação da Geomorfologia com o clima. A topografia do município é bastante acidentada constituindo o prolongamento Norte da Chapada Diamantina, apresentando extensos planaltos e inúmeros acidentes geográficos, dentre os quais se destacam: as Serra das Araras, Dias Coelho, Babilônia e Isabel Dias; as Cachoeiras do Ferro Doido, Domingo Lopes, Agreste e Ventura; as grutas dos Brejões, Boa Esperança, Araras, Cristal, além das lagoas do Cercado Santo, Cercado Velho e da Velha. A geomorfologia do município é constituída pelas seguintes unidades: Chapada do Morro do Chapéu, Patamar do Médio Rio Paraguaçu e Chapada de Irecê (ROCHA, A. J. D.; COSTA, I. V. G., 1995).

O município faz parte da região semi-árida do Estado da Bahia (delimitada pela Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste - SUDENE, Lei 7827/89), com clima seco a sub-úmido e semi-árido. O período chuvoso se estende entre os meses de novembro a janeiro. Entretanto, como em todo semi-árido, a irregularidade das chuvas é uma característica forte. Em função de sua altitude, a sede do município e algumas fazendas e sítios bem próximos, desfrutam de um clima privilegiado, sendo conhecido como “Suíça Brasileira” (CUNEGUNDES, 1989). O Território de Morro do Chapéu faz parte das bacias hidrográficas do São Francisco e Paraguaçu, sendo o conjunto de serras localizadas na região do Parque Estadual de Morro do Chapéu (Serra do Badeco, Isabel Dias, dentre outras) divisor de águas das subacias dos rios Jacaré, Salitre, Jacuípe e Utinga.

A vegetação do município, composta de florestas, caatinga cerrado, complexo rupestre e várias áreas de ecótono, é de grande complexidade, em função da diversidade físico-ambiental, e em parte devido ao alto grau de intervenção humana.

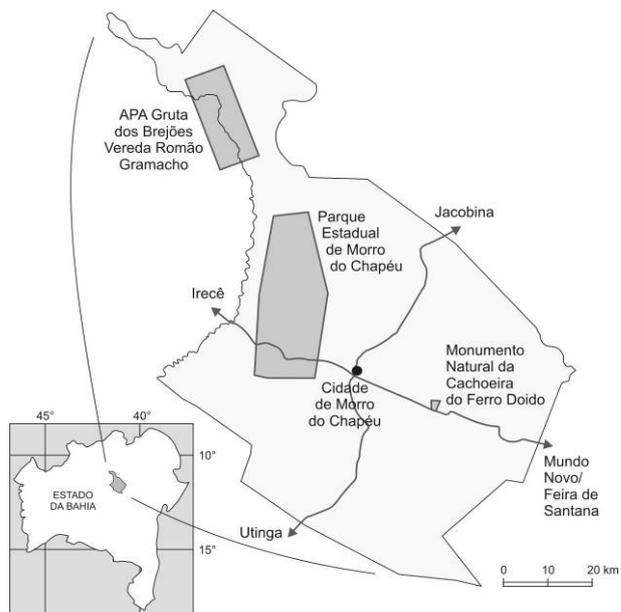


Fig 1 – Mapa de Localização do Município de Morro do Chapéu

3 – MATERIAIS E MÉTODO

Os dados utilizados nesta pesquisa, descritos no quadro 1, foram editados e sistematizados a fim de compor a base em ambiente de SIG.

QUADRO 1 – DADOS UTILIZADOS NO ESTUDO

Tipo de Dado/Informação
Imagem de Satélite Landsat ETM+ cenas 218-67;218-68 e 219-69 (2002, em dois períodos diferentes – seco e úmido) – Resolução 30m
Modelo Digital de Terreno – MDT- Resolução 90m
Tipologia de solos Escala - 1:200.000
Tipologia de rochas Escala - 1:200.000
Tipologia de vegetação Escala - 1:200.000
Tipologia de clima Escala - 1:200.000
Rede hidrográfica Escala – 1:200.000
Pontos de controle de campo
Cartas Topográficas analógicas e digitais (SUDENE, 1995)

As imagens Landsat foram pré-processadas pela Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais - Funcate com base nos mosaicos Geocover do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE. Aplicou-se também um filtro linear (2%) para realçar as feições das imagens. Os processamentos digitais realizados nesta imagem estão descritos no trabalho de LOBÃO; MELO e SILVA; SILVA; ROCHA, (2007).

Com base no Modelo Digital de Terreno (MDT/SRTM/NASA, 2003) foram gerados os mapas de Declividade, Altimetria e Feições Topográficas que compuseram a variável Geomorfologia. Todas essas etapas foram subsidiadas por trabalhos de campo que visaram além do reconhecimento da área, verificar os resultados obtidos.

De posse desses dados, cada classe de atributos das variáveis envolvidas no processo (solo, clima, geologia, vegetação, uso/ocupação do solo e geomorfologia) foi ponderada com a ajuda de diversos especialistas (um geólogo; um geomorfológico; especialista em solos, outro em clima; e um biólogo do IBGE, especialista em mapeamento de vegetação, a quem agradecemos a colaboração). Nesta consulta, foi explicado ao especialista o objetivo do trabalho e apresentado uma tabela com todas as classes referentes ao tema solicitados para que ele pudesse atribuir o peso e justificasse sua ponderação com base no modelo da Ecodinâmica, proposto por Tricart (1976), numa escala de 1 a 5.

Em seguida foi implementada a Inferência Média Ponderada – IMP, que baseia-se na aplicação de potencia de base 2 a cada uma das classes das variáveis, com a finalidade de evitar ambigüidades. Logo, o expoente dos IMP de todas as variáveis foi obtido por meio de consulta à especialistas.

Num segundo momento avaliou-se a importância relativa de cada variável no processo de erosão por meio do método da Análise Hierárquica de

Processos – AHP, e verificou-se a consistência dessa avaliação por meio do cálculo da Razão de Consistência.

O Fluxograma da figura 2 demonstra as etapas da pesquisa.

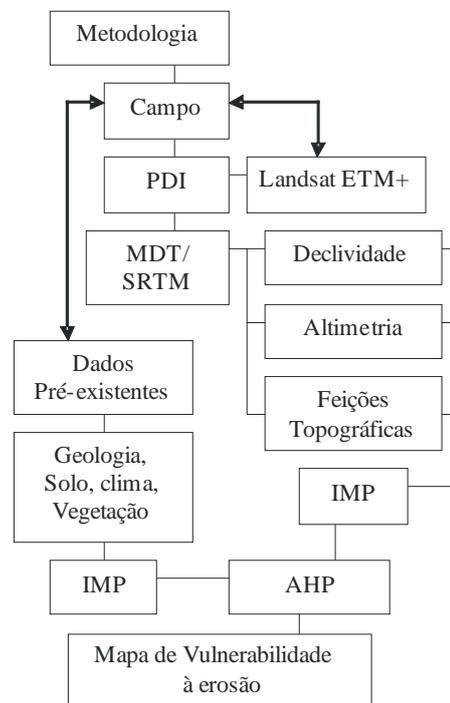


Fig. 2 – Fluxograma Metodológico

4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na abordagem deste trabalho, buscou-se compreender as especificidades dos sistemas naturais (geologia, geomorfologia, clima, vegetação) no Município de Morro do Chapéu a partir das inter-relações das variáveis naturais. Nesta perspectiva, os resultados apresentados na ponderação de cada variável do processo, e sua respectiva discussão, garantiram a fidelidade à realidade local como apresentado abaixo:

4.1 – Geomorfologia

A estrutura geomorfológica é dependente direta das formações geológicas e constitui um elemento determinante dos processos ecodinâmicos. A morfometria e morfologia do relevo revelada em seus aspectos de amplitude altimétrica, declividade, forma e intensidade de dissecação são elementos de fundamental importância para a compreensão dos processos ecodinâmicos.

A fragilidade potencial do relevo é indicada pela intensidade de dissecação (ROSS, 1996). Nesta relação, quanto maior a densidade de drenagens, maior será a atividade evolutiva das vertentes e interflúvios. Por outro lado, áreas onde ocorrem maiores declividades os processos de transporte de material

ocorrem de forma mais intensa, impulsionados pela ação gravitacional.

A morfogênese é acentuada quando ocorrem processos de dissolução que modificam química/fisicamente as rochas originando, por exemplo, modelados cársticos. Processos de dissecação, contribuem para a evolução morfodinâmica do relevo e para a indicação da susceptibilidade aos processos erosivos.

A delimitação de unidades geomorfológicas propostas para o Município de Morro do Chapéu, por estudos anteriores (BRASIL, 1983; ROCHA, A. J. D.; COSTA, I. V. G., 1995; LOBÃO, 2004;), apesar de atenderem aos objetivos estabelecidos, constituem generalizações que não revelam as feições resultantes dos processos de modelamento com o devido detalhamento. Por exemplo, quando se delimita uma área e que se caracteriza por: superfície irregular ruiforme e rochosa com declives entre 10 e 45%, isso não implica que todo esse espaço seja uniforme, e sim que há uma predominância. Além disso, a variação de declividade 10 a 45% não é presente em toda a área, mas localizada.

Com o objetivo de evidenciar os processos geomorfológicos de forma mais precisa, três mapas foram gerados como base no Modelo Digital de Terreno e combinados simultaneamente por meio de Inferência Média Ponderada, para assim constituírem a síntese dos ambientes geomorfológicos no município de Morro do Chapéu: i) mapa de declividade, ii) mapa de classificação altimétrica e iii) mapa de características topográficas.

4.1.1 - Mapa de Declividade

A declividade é um elemento primordial para o modelamento do relevo e influencia diretamente na vulnerabilidade à erosão. As áreas com grandes declividades são naturalmente mais instáveis e propensas à movimentos de regolito, como por exemplo: desmoronamentos, deslizamentos, solifluxão, fluxos de terra e rastejamentos. Se a ação mecânica das gotas de chuva incidem numa área com grande declividade o arrancamento e deslocamento das partículas terrosas será muito mais efetivo.

No município em questão foram delimitadas 5 classes de declividade (Figura 3a), ponderadas e aplicadas o cálculo da Inferência Média Ponderada – IMP segundo o quadro 2.

QUADRO 2 - PESOS, IMP E CARACTERIZAÇÃO DAS CLASSES DE DECLIVIDADE DO MUNICÍPIO DE MORRO DO CHAPÉU

Classes de declividade	Caracterização das classes de declividade	Peso	IMP
0 ° a 2,9°	Relevo plano a suave ondulado. Predomina a pedogênese.	1	$2^0 = 1$
3 ° a 5,7°	Relevo suave ondulado a moderadamente ondulado.	2	$2^1 = 2$
5,8 ° a 8,5°	Relevo moderadamente ondulado a ondulado	3	$2^2 = 4$
8,6 ° a 14°	Relevo ondulado a fortemente ondulado	4	$2^3 = 8$
> 14,1 °	Relevo fortemente ondulado a escarpado. Predomina a morfogênese.	5	$2^4 = 16$

4.1.2 - Mapa de Classificação Altimétrica

Nas maiores altitudes há uma tendência ao predomínio dos processos morfogenéticos que gradativamente se estabilizam em áreas mais deprimidas. Entretanto, este elemento foi utilizado como parâmetro balizador para as declividades e para as características topográficas, pois, exemplificando, pode-se afirmar que os processos ecodinâmicos que ocorrem em um cume a 1000 m de altitude são diferentes dos que ocorrem a 500 m.

Para o município de Morro do Chapéu foram delimitadas 05 classes altimétricas (Figura 3b) com a finalidade de melhor caracterizar as diversidades altimétricas. Essas classes foram ponderadas e calculadas a Inferência Média Ponderada segundo o quadro 3.

QUADRO 3 - PESOS, IMP E CARACTERIZAÇÃO DAS CLASSES ALTIMÉTRICAS DO MUNICÍPIO DE MORRO DO CHAPÉU

Classes Altimétricas	Caracterização das classes hipsométricas	Peso	IMP
<500 a 600	Predominam áreas mais baixas onde o poder de transporte de material fica reduzido e ocorrem áreas de maior acumulação.	1	$2^{10} = 1024$
601 a 700	Áreas de menos elevadas, onde o poder de transporte de materiais começa a ser reduzido	2	$2^{11} = 2048$
701 a 800	Áreas de médias altitudes, consideradas uma área de poder morfodinâmico intermediário	3	$2^{12} = 4096$
801 a 950	Grande área do município onde os processos morfogenéticos são mais acentuados.	4	$2^{13} = 8192$
951 a > 1100	Processos morfogenéticos com destaque para formação Morro do Chapéu	5	$2^{14} = 16384$

4.1.3 - Mapa de Características Topográficas

As seis feições topográficas delimitadas neste mapa (*Peak-Cume*, *Ridge-crista*, *Pass-confluência de vale ou canal*, *Plane- plano*, *Channel- vale ou canal*, e *Pit-depressão*) interagem de forma diferenciadas com as demais sub-variáveis que compõem a variável geomorfologia no modelo proposto. Os Peaks, Ridges, em geral estão associados a uma maior instabilidade e os Pass, Planes, Channels e Pits, as áreas com maior tendência à pedogênese. Entretanto, os Channels podem possuir maior poder erosivo se estiverem associados a leitos de rios e em maiores altitudes e declividades. Os Planes localizados em áreas com maiores elevações são também relativamente mais estáveis. Estas relações estão sendo consideradas com as duas variáveis anteriores.

Para o Município de Morro do Chapéu as seis características topográficas mapeadas (Figura 3c) foram ponderadas e calculadas a Inferência Média Ponderada, como descrito no quadro 4.

QUADRO 4 – PESOS, IMP E DESCRIÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS TOPOGRÁFICAS DO MUNICÍPIO DE MORRO DO CHAPÉU

Classe	Descrição das características	Peso	IMP
Pass-confluência de vale ou canal, Plane	Área de intersecção das feições côncavas/convexas. Áreas potencialmente estáveis	1	$2^5 = 32$
Pit-depressão	Área côncava, onde dominam processos de acumulação	1	$2^5 = 32$
Plane- plano	Potencialmente de dominância dos processos pedogenéticos. Sua contribuição será modificada quando associada às demais variáveis geomorfológicas	2	$2^6 = 64$
Channel-vale ou canal	A direção da declinação da superfície é côncava numa seção transversal. Numa área alta possui maior poder erosivo e em menos elevadas seu potencial reduz-se. O valor atribuído é modificado com a associação das demais variáveis geomorfológicas	3	$2^7 = 128$
Ridge-crista	Áreas mais instáveis com dominâncias dos processos morfogenéticos.	4	$2^8 = 256$
Peak-Cume	Áreas mais instáveis com dominância dos processos morfogenéticos.	5	$2^9 = 512$

Os três mapas analíticos gerados com base no MDT (declividade, altimetria e características

topográficas) fornecem conjuntamente informações muito mais precisas sobre a geomorfologia no município de Morro do Chapéu, reduzindo as generalizações comumente realizadas quando se delimitam unidades geomorfológicas. Entretanto, esses produtos isolados não reproduzem a realidade sendo necessário investigar as relações entre estes elementos que juntos compuseram a variável geomorfologia no processo de modelagem da vulnerabilidade natural à erosão (Figura 3d).

A integração desses três produtos foi realizada por meio de ponderações em relação à importância relativa de cada elemento para a variável geomorfologia, explicitada quadro 5 e a Figura 3d demonstra a síntese do modelo aplicado.

Considerando que a variável geomorfologia gerada com base nas três sub-variáveis (declividade, altimetria, e feições topográficas) constitui um mapa de síntese qualitativa as classes não foram nomeadas e sim classificadas de acordo com o grau de favorabilidade à erosão perceptível para cada classe. Para a variável Geomorfologia, foi ponderado e calculado a Inferência Média Ponderada segundo quadro 6. A figura 3e demonstra o mapa resultante da integração para a variável geomorfologia.

QUADRO 5 – IMPORTÂNCIA RELATIVAS DOS ELEMENTOS GEOMORFOLÓGICOS

Elementos Geomorfológicos	Importância relativa
Declividade	50%
Altimetria	25%
Características topográficas	25%

QUADRO 6 – PESOS, IMP E DESCRIÇÃO DA VARIÁVEL GEOMORFOLOGIA PARA O MUNICÍPIO DE MORRO DO CHAPÉU

Classe	Grau de favorabilidade à erosão	Peso	IMP
1	Baixa	1	$2^{21} = 2.097.152$
2	Moderadamente baixa	2	$2^{22} = 4.194.304$
3	Mediana	3	$2^{23} = 8.388.608$
4	Moderadamente Alta	4	$2^{24} = 16.777.216$
5	Alta	5	$2^{25} = 33.554.432$

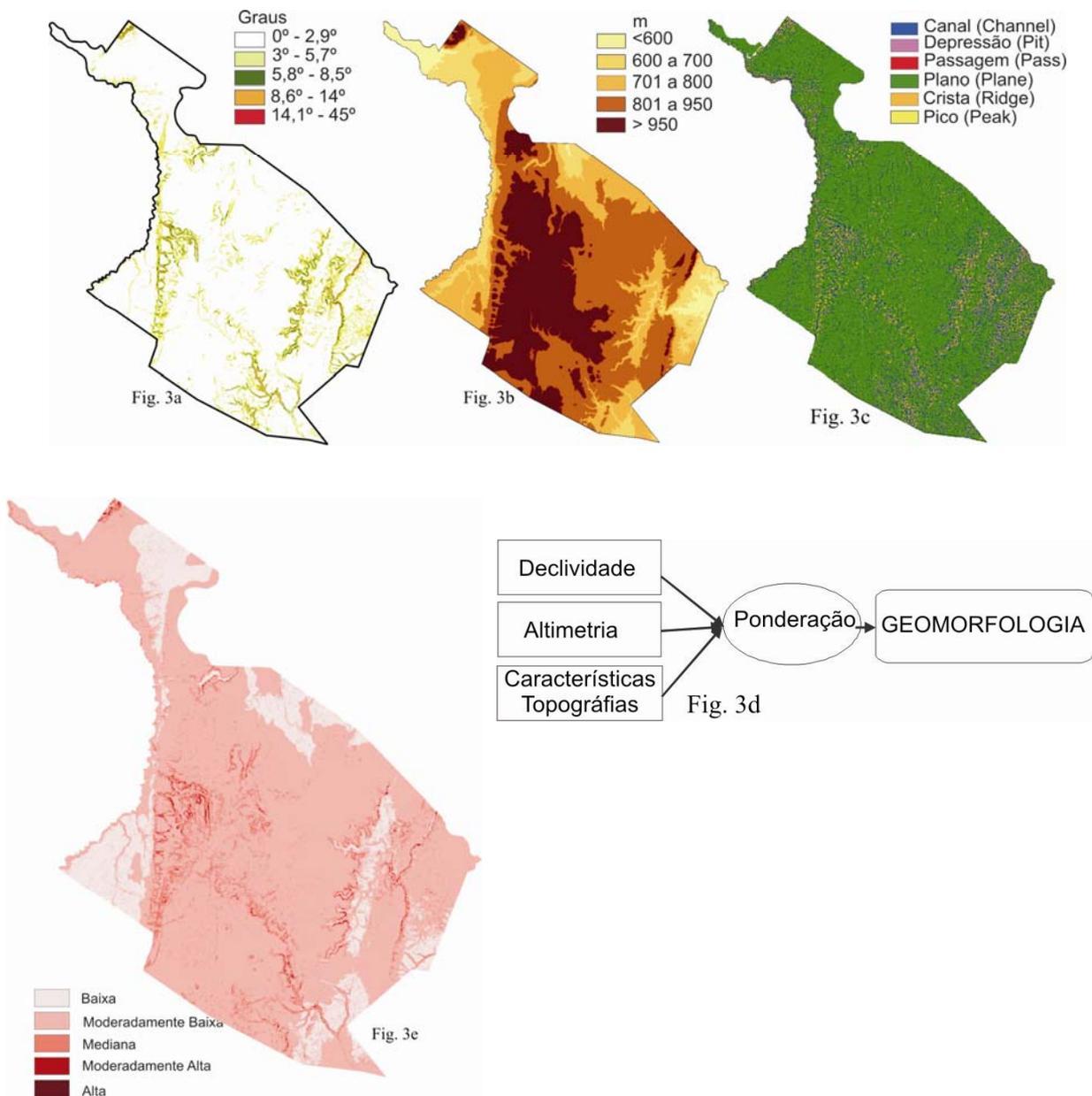


Figura 3 - Variável geomorfologia – 3a Mapa de declividade; 3b Mapa de altimetria; 3c Mapa de feições topográficas; 3d – Síntese do modelo aplicado; 3e – Mapa de importância relativa da variável

4.2 – Geologia

A litologia é o elemento preponderante na geologia para indicação da estrutura, do grau de dureza/friabilidade e sua conseqüente resistência aos processos intempéricos e erosivos. A resistência das rochas está diretamente relacionada a sua litoestrutura sendo o substrato geológico do município de Morro do Chapéu envolto de uma grande complexidade por possuírem ambientes formados em épocas e condições muito diversas.

A região do município de Morro do Chapéu faz parte do Grupo Chapada Diamantina, formado por

uma bacia sedimentar que se desenvolveu há cerca de 1600 milhões de anos sobre terrenos granito-gnáissicos do embasamento cristalino. Este grupo é constituído pelas Formações Tombador, Caboclo e Morro do Chapéu. Sobre este ambiente depositaram-se o Grupo Una, composto pelas Formações Bebedouro e Salitre, que são constituídas por cascalhos e calcários depositados há mais de 570 milhões de anos (ROCHA, A. J. D.; COSTA, I. V. G, 1995).

Cada uma dessas formações guarda particularidades, que em função de sua origem, posição e dos demais elementos (clima, solos, geomorfologia e cobertura vegetal) contribuem de forma diferenciada

para os processos erosivos. O detalhamento de cada uma dessas formações foge ao escopo deste trabalho e foi considerada na atribuição dos pesos dados a cada litologia (Fig. 4a). A análise de todas as litologias baseou-se nos procedimentos metodológicos da Ecodinâmica.

O Quadro 7 revela a atribuição dos pesos dados às classes litológicas no município de Morro do Chapéu, fruto das discussões com o geólogo que contribuiu na ponderação das classes.

QUADRO 7 - PESOS E CARACTERIZAÇÃO DA ORIGEM E LITOLOGIA DA REGIÃO DE MORRO DO CHAPÉU

Grupo/Formação	Litologias	Peso	IMP
Depósitos	Coluvionares	5	$2^5 = 32$
	Aluviões (areia-cascalho)	4	$2^4 = 16$
	Alterações residuais areno-argilosas		
	Calcário Caatinga		
	Coberturas detriticas (areia, argila, cascalho)		
Salitre	Calcário Preto	3	$2^3 = 8$
	Arenito silicificado	2	$2^2 = 4$
	Calcário cinza - claro	3	$2^3 = 8$
Bebedouro	Conglomerado arenito - argilito	3	$2^3 = 8$
Morro do Chapéu	Conglomerado - Arenito conglomerado	2	$2^2 = 4$
	Arenito Feldspático		
	Arenito vermelho	3	$2^3 = 8$
	Argilito/Siltito Arenito		
Caboclo	Calcário	3	$2^3 = 8$
	Argilito - Arenito		
	Calcário silicificado		
	Arenito conglomerático		
	Siltito		
Tombador	Arenito de granulação grossa	2	$2^2 = 4$
	Arenito		
	Arenito - Conglomerado		
	Conglomerado - Arenito		
Granito - Gnaisse	Granito - Gnaisse	1	$2^1 = 2$

4.3 – Solos

A formação dos solos está diretamente relacionada com a geologia e geomorfologia local/regional, com o clima e a vegetação, e são de fundamental importância para a ocupação do espaço pela sociedade. As aptidões do solo influenciam o tipo de cultivo e a forma de apropriação do espaço. Por isso, a seleção do uso a ser dado a este recurso, deve sempre estar fundamentada nas suas características físicas, a fim de se evitar perdas, erosão e

desertificação, dentre outros desastres oriundos do uso inadequado.

No balanço morfogênese/pedogênese, algumas características são determinantes, como: maturidade, porosidade, permeabilidade, teor de matéria orgânica, dentre outros. A proporção de areia/argila presente no solo, bem como o tipo de argila existente tem influência direta nos processos erosivos. Solos arenosos e sem cobertura são facilmente transportados pelos efeitos das chuvas e pelos ventos, porém, solos com argilas expansivas e sujeitas a altos índices pluviométricos tendem a criar uma superfície de saturação e conseqüentemente são propícios a desmoronamentos.

Solos maduros, com textura grossa e grandes quantidades de matéria orgânica tenderão a maior estabilidade, favorecendo os processos pedogenéticos, mas, solos rasos, e pouco permeáveis tenderão a uma maior instabilidade e conseqüentemente propiciam os processos morfogenéticos. As classes de solo encontradas no município de Morro do Chapéu podem ser visualizadas na figura 4b.

A partir dos critérios estabelecidos, aplicou-se os pesos segundo à caracterização e análise da ecodinâmica das classes de solos, e calculou-se os valores a partir da Inferência Média Ponderada. Os resultados estão expressos no quadro 8.

QUADRO 8 - PESOS, IMP E CARACTERIZAÇÃO DAS CLASSES DE SOLO DO MUNICÍPIO DE MORRO DO CHAPÉU

Classes de solo	Peso	IMP
Latossolo Vermelho Amarelo distrófico	1	$2^9 = 512$
Latossolo Vermelho-Amarelo eutrófico	1	$2^9 = 512$
Argissolo Vermelho-Amarelo Latossólico distrófico	2	$2^{10} = 1024$
Argissolo Vermelho-Amarelo	2	$2^{10} = 1024$
Cambissolo Háplico	4	$2^{11} = 2048$
Neossolos Flúvicos	5	$2^{12} = 4096$
Neossolos Litólicos Distróficos	5	$2^{12} = 4096$
Nessosolos Litólicos Eutróficos	5	$2^{12} = 4096$
Nessosolos Litólicos Quartzarênico	5	$2^{12} = 4096$

4.4 – Clima

O clima é uma variável muito importante, sendo a principal responsável pela entrada da energia que dinamiza os processos pedogenéticos/morfogenéticos. Os tipos climáticos considerados neste estudo possuem na pluviosidade seu principal elemento impulsor do intemperismo, físico, químico e biológico. A ação erosional realizada pelos agentes de meteorização frequentes no município de Morro do Chapéu está diretamente associada à sua pluviosidade e amplitude térmica diária.

O potencial erosivo dos três diferentes climas, classificados segundo Köppen, para o município de Morro do Chapéu, levou em consideração principalmente a pluviosidade, temperatura e sazonalidade (Figura 4c).

As chuvas representam a principal resposta à atuação das correntes da circulação atmosférica regional e a temperatura revela a interação da latitude e a altitude, contribuindo para a definição dos climas em Morro do Chapéu que tem um período chuvoso entre novembro a abril, sendo dezembro o mês de maior pluviosidade. De maio a outubro, ocorre o período seco. A parte leste da região onde está localizada a região de Dias Coelho, tem uma maior quantidade e regularidade mensal das chuvas. Isso ocorre em função da orientação do relevo na ocorrência das chuvas orográficas. Essas áreas, além de serem afetadas pelas chuvas de verão, decorrentes da atuação da Frente Polar Atlântica ao norte do Trópico de Capricórnio, são afetadas também pelas chuvas de outono-inverno, provenientes do leste, embora com menor intensidade.

A cidade de Morro do Chapéu é pouco afetada por essas correntes atmosféricas de outono/inverno, sendo muito baixos os seus índices pluviométricos nessa época. À medida que se penetra na direção oeste, a repercussão dessas correntes atmosféricas do leste se anula, acentuando-se o período seco no outono-inverno. As chuvas são concentradas em poucos dias, e/ou horas (ROCHA, A. J. D.; COSTA, I. V. G., 1995).

De acordo com os critérios estabelecidos e com base nas discussões com o especialista estabeleceram-se os pesos e seus respectivos cálculos de Inferência Média Ponderada constantes no quadro 9.

Quadro 9 - Pesos, IMP e caracterização da Tipologia climática do Município de Morro do Chapéu

Tipologia Climática	Caracterização das tipologias	Peso	IMP
Aw	Tropical Sub-úmido. Altitude menor que 800m e pluviosidade maior que 800mm.	3	$2^6 = 64$
Bsh	Semi-árido Quente. Altitude menor que 800m e pluviosidade menor que 800mm.	4	$2^7 = 128$
Cwb	Tropical de altitude com verão quente. Altitude maior que 1000m. Pluviosidade menor que 800mm. Temperaturas amenas	5	$2^8 = 256$
Cwa	Tropical de altitude com verão quente. Altitude entre 800 e 1000m. Pluviosidade menor que 800mm. Temperaturas amenas	5	$2^8 = 256$

4.5 – Cobertura do solo

A vegetação é uma variável chave para a avaliação da vulnerabilidade natural à erosão. No sistema terrestre a vegetação protege o terreno contra erosão. Entre os mais importantes efeitos da cobertura vegetal, destacam-se:

1. Redução do impacto das gotas de chuva e seu efeito de saltitação.
2. Dispersão e redução da intensidade da energia do escoamento superficial.
3. Aumento da porosidade e permeabilidade do solo, ampliando a capacidade de infiltração.
4. Retenção de água no solo por meio da incorporação de matéria orgânica.
5. Redução da compactação do solo e o conseqüente aumento escoamento superficial.
6. Estabilização das vertentes.
7. Dispersão da energia eólica reduzindo o seu potencial erosivo.

É evidente que a vegetação corresponde à mais importante variável na manutenção da estabilidade natural de um ambiente. Por outro lado, é sobre a vegetação que ocorrem os primeiros impactos provocados pela apropriação da sociedade na natureza.

No Município de Morro do Chapéu toda a formação caatinga era totalmente densa, variando entre arbórea, arbórea arbustiva, arbustiva arbórea e arbustiva. Logo, essa formação e as áreas de florestas estacionais (decíduas e semi-decíduas) ofereciam grande proteção ao solo, favorecendo os processos pedogenéticos. Já os cerrados e suas áreas de contato com as caatingas eram menos estáveis, variando de densidade e conseqüentemente de proteção ao solo. Entretanto, a retirada da cobertura vegetal para uso

agrícola e pecuário, expõe o solo aos fatores erosivos, gerando maior instabilidade no ambiente.

As áreas que foram substituídas por uma vegetação secundária, apesar de muitas vezes deixarem de manter a mesma estabilidade inicial ainda conseguem manter certo grau de proteção. Muitos dos ambientes apresentam configurações mistas, ou seja, são áreas onde existem pastagens, agricultura temporária e/ou permanente intercaladas com vegetação secundária e vegetações primitivas. Nestas situações considerou-se a classe predominante (que ocupa a maior área), com maior influência na cobertura.

Para o Mapa de Cobertura e Uso do Solo considerou-se o uso para a agropecuária, agricultura e as coberturas de vegetação secundária intensificando os processos erosivos por expor o solo aos agentes erosivos e de transporte, favorecendo a morfogênese e os movimentos de regolito.

No Município de Morro do Chapéu foram delimitadas 26 classes de cobertura vegetação/uso do solo, contidas em seis grupos de formações (Figura 4d) e ponderadas segundo o quadro 10.

QUADRO 10 - PESOS, IMP, FORMAÇÕES E CLASSES DE COBERTURA DE VEGETAÇÃO/USO DO SOLO NO MUNICÍPIO DE MORRO DO CHAPÉU

Formações	Uso/Cobertura do Solo	Peso	IMP
Caatinga	Agropecuária intensiva em área de Caatinga	5	$2^4 = 16$
	Caatinga	1	$2^0 = 1$
	Caatinga densa		
	Caatinga em área rupestre	3	$2^2 = 4$
	Vegetação secundária com Agropecuária em área de Caatinga		
	Vegetação secundária em área de Caatinga	2	$2^1 = 2$
	Vegetação secundária densa em área de Caatinga	1	$2^0 = 1$
	Vegetação secundária com Agropecuária em área de Caatinga	3	$2^2 = 4$
Cerrado	Vegetação secundária em área de Cerrado	2	$2^1 = 2$
	Vegetação secundária em área de Cerrado rupestre	3	$2^2 = 4$
	Vegetação Secundária e Agricultura em área de cerrado		
Contato Caatinga/Cerrado	Agropecuária em área de Contato Caatinga/Cerrado	5	$2^4 = 16$
	Contato Caatinga/Cerrado	2	$2^1 = 2$
	Vegetação Secundária em área de Contato Caatinga/Cerrado	3	$2^2 = 4$

Formações	Uso/Cobertura do Solo	Peso	IMP
Contato Cerrado/Caatinga	Agropecuária em área de Contato Cerrado/Caatinga	5	$2^4 = 16$
	Contato Cerrado/Caatinga	2	$2^1 = 2$
	Contato Cerrado/Caatinga em área rupestre	3	$2^2 = 4$
	Vegetação Secundária em área de Contato Cerrado rupestre/Caatinga		
	Vegetação Secundária em área de Contato Cerrado/Caatinga		
Contato Cerrado/Floresta Estacional Semi-decídua	Agropecuária em área de Contato Cerrado/Floresta Estacional Semi-decídua	5	$2^4 = 16$
	Contato Cerrado/Floresta Estacional Semi-decídua	1	$2^0 = 1$
	Vegetação Secundária em área de Contato Cerrado/Floresta Estacional Semi-decídua	4	$2^3 = 8$
	Vegetação Secundária em área de Contato Cerrado/Floresta Estacional Semi-decídua		
Floresta Estacional Decidual	Agropecuária em área de Floresta Estacional Decidual	5	$2^4 = 16$
	Agropecuária Vegetação secundária em área de Floresta Estacional Decidual		
	Vegetação secundária Floresta Estacional Decidual	4	$2^3 = 8$
Floresta Estacional Semi-decídua	Agropecuária em área de Floresta Estacional Semi-decídua	5	$2^4 = 16$
	Agropecuária Floresta Estacional Semi-decídua		
	Floresta Estacional Semi-decídua	1	$2^0 = 1$
	Vegetação secundária em área de Floresta Estacional Semi-decídua	3	$2^2 = 4$

4.6 – A Vulnerabilidade Natural à Erosão

Com base no modelo da Ecodinâmica (TRICART, 1976) e nos dados e critérios estabelecidos, a participação de cada variável no processo foi calculada por meio na aplicação de critérios de apoio à decisão da Análise Hierárquica de Processos - AHP.

A AHP foi proposta por Saaty (1978) e está baseada numa relação pareada visando superar as limitações cognitivas do(s) decisor(es).

A robustez e simplicidade são características inerentes ao método, permitindo sua aplicação em várias áreas do conhecimento (ABREU et al, 2000), que

segundo Rosenbloom (1996), tornou-se popular e prática para tratar de problemas de decisões complexas.

Duas etapas são fundamentais na implementação do método AHP: a construção da hierarquia e a avaliação (VARGAS, 1990).

Na construção da hierarquia, é necessária a estruturação em níveis para a modelagem de problemas complexos. Logo, a partir do objetivo, identificam-se as variáveis envolvidas, e baseadas nos critérios estabelecidos podem-se gerar os diferentes processos erosivos atuantes, ou seja, a importância relativa de cada variável para o objetivo proposto.

Entretanto, as possibilidades de interação entre essas variáveis não possuem um comportamento linear. Por exemplo: a “Variável 1” pode ser extremamente mais importante do que “Variável 2” e menos importante do que “Variável 3”, para o objetivo proposto. Nesta lógica, é após essa hierarquização que se inicia a etapa de avaliação com a comparação paritária, considerando-se os critérios e/ou subcritérios. Os resultados dessa comparação são expressos por meio de uma matriz numérica, que determina a importância relativa de cada variável, numa escala de 1 a 9, (9 - Extremamente mais importante; 8 - Quase que extremamente mais importante; 7 - Mais que fortemente importante; 6 - Fortemente mais importante; 5 - Mais que moderadamente importante; 4 - Moderadamente mais importante; 3 - Mais que ligeiramente importante; 2 - Ligeiramente mais importante; 1 - Iguamente importante) (SAATY,1978). A determinação dos valores dessa escala deve ser pré-determinadas pelo conhecimento do especialista.

A matriz pareada das variáveis está representada no quadro 11 e demonstra que em relação às variáveis envolvidas, determinou-se que a vegetação/uso do solo é fortemente mais importante que o solo, que a geomorfologia e que o clima (4:1/4), quase extremamente mais importante que a geologia (5:1/5), sendo assim considerada a variável mais importante. De acordo com as demais variáveis que foram pareadas o clima e a geomorfologia são respectivamente mais importantes que o solo e a geologia (quadro 11).

Neste resultado, a integridade dos julgamentos foi testada por meio do cálculo do índice de integridade dos julgamentos – Razão de Consistência- RC.

A partir desta matriz pareada foram calculados os autovalores e autovetores que possibilitam o cálculo da probabilidade de acerto, relativo às inter-relações atribuídas ao conjunto de variáveis. Os autovetores foram obtidos através das médias aritméticas da matriz normalizada. Os autovalores foram calculados por meio da multiplicação da matriz de pesos pelos autovetores que correspondem à porcentagem de importância de cada variável. O valor da RC foi calculada a partir da soma do total dos produtos dos autovalores subtraído pelo total de variáveis e dividido pelo total de variáveis menos 1. Saaty (1978), afirma que a RC deve ser sempre menor que 0,10 indicando um acerto mínimo de 90% nas inter-relações. Para a matriz acima a RC

calculada foi de 0,05, indicando boa consistência dos dados.

QUADRO11 – MATRIZ DE COMPARAÇÃO PAR A PAR REFERENTE À INDICAÇÃO DA IMPORTÂNCIA RELATIVA DAS VARIÁVEIS ENVOLVIDAS NO PROCESSO DE EROÇÃO PARA O MUNICÍPIO DE MORRO DO CHAPÉU

	Solo	Geomorfologia	Geologia	Clima	Vegetação uso do solo
Solo	1.00	0.20	1.00	0.25	0.17
Geomorfologia	5.00	1.00	4.00	1.00	0.25
Geologia	1.00	0.25	1.00	0.17	0.13
Clima	4.00	1.00	6.00	1.00	0.33
Vegetação/ uso do solo	6.00	4.00	8.00	3.00	1.00

Os resultados apontaram para uma contribuição de cada variável indicada no Quadro12.

QUADRO12 – CONTRIBUIÇÕES RELATIVAS DE CADA VARIÁVEL AO PROCESSO DE EROÇÃO NO MUNICÍPIO DE MORRO DO CHAPÉU

Contribuição (%)	Variáveis
6%	Solo
19%	Geomorfologia
5%	Geologia,
21%	Clima,
49%	Vegetação / Cobertura do solo

Em função das diferentes escalas e resoluções dos dados trabalhados e visando atender a um maior rigor cartográfico, adotou-se as menores resoluções para as imagens trabalhadas (90m). Entretanto, como os dados pré-existent de clima, solo e geologia só estão disponíveis em escala de 1:200.000, adotou-se esta escala, apesar de rasterizados com resolução de 90m.

A maior dificuldade deste trabalho está na inexistência de dados em escalas menores, principalmente, de solo e geologia. Entretanto, como os dados de geomorfologia e vegetação, que foram considerados na AHP como mais importantes, possuem maior quantidade de informações, sendo possível um maior detalhamento.

O mapa de vulnerabilidade à erosão no município de Morro do Chapéu (Fig.5) destacou como mais vulneráveis as áreas mais dissecadas e desmatadas para uso agropecuário. Desta forma, áreas mais altas, com solos, naturalmente mais frágeis como os neossolos quartarênicos, que ainda possuem uma vegetação com maior primitividade tornam-se relativamente mais estáveis do que áreas de Latossolos mais antropizadas. Embora especialistas fossem consultados para a determinação dos pesos atribuídos a cada classe, nesta metodologia que é baseada no conhecimento, poder-se-ia ter atribuído pesos sem essa contribuição, entretanto, legítima-se mais os resultados e aproxima-se mais de

uma análise multidisciplinar quanto incorpora-se os especialistas.

A IMP, além de remover as ambigüidades, possibilita que em cada classe mapeada saibam-se quais as contribuições das classes das variáveis envolvidas. Já a AHP, incorpora a possibilidade de definir importâncias relativas diferenciadas favorecendo destacar mais algumas variáveis em detrimentos de outras, visto que a participação destas no processo erosivo é diferenciada.

Estes cuidados na incorporação das variáveis possibilitaram resultados mais acurados. Isso pode ser verificado empiricamente nos trabalhos de campo realizados, onde se percebeu a forte relação entre a primitividade e a relativa estabilidade dinâmica nas áreas mapeadas com 'Baixa' e 'Moderadamente baixa' vulnerabilidade à erosão. Por outro lado, voçorocas, ravinamentos e grande escoamento superficial foram encontrados nas áreas mapeadas com 'Alta' e 'Moderadamente alta' vulnerabilidade.

5 – CONCLUSÕES

A modelagem de fenômenos naturais deve ser criteriosa em todas as etapas. Desde a seleção dos dados a serem utilizados, aos métodos, às técnicas, aplicados ao modelo. Neste trabalho os mapeamentos realizados pela CPRM (ROCHA, A. J. D.; COSTA, I. V. G., 1995), foram substanciais. Os dados que descrevem a geologia, o solo, o clima e a vegetação, foram considerados os mais acurados. Entretanto, um mapa de geomorfologia abarca muitas informações generalizadas a fim de melhor representá-las e na proposta do modelo de erosão as unidades geomorfológicas tornaram-se insuficientes. A fim de melhor delimitar os principais elementos geomorfológicos que influenciam nos processos erosivos (declividade, altimetria e feições topográficas), foi mais adequado gerar um modelo específico para a variável geomorfologia a partir do MDT/SRTM/NASA.

Para o mapeamento da vulnerabilidade natural à erosão o uso de geotecnologias foi de fundamental importância e o modelo lógico combinando a avaliação multicriterial por meio de Inferência Média Ponderada, com técnica de suporte à decisão da Análise de Processos Hierárquicos possibilitaram atingir o objetivo proposto, facilitando as análises, e possibilitando ampliar e atualizar este banco de dados de forma mais satisfatória.

A técnica de Inferência Média Ponderada além de eliminar todas as possíveis ambigüidades existentes quando se utiliza álgebra de mapas, possibilita a identificação de cada atributo das variáveis envolvidas, pois os valores não se repetem. Logo, dá para saber, por exemplo, se a alta vulnerabilidade de uma determinada área está mais relacionada à falta de cobertura vegetal, à uma grande declividade e/ou a conjugação dessas variáveis. Ou ainda quais as variáveis que estão proporcionando a estabilidade de cada área.

Ao aplicar-se a AHP, reduziu-se a subjetividade da decisão, e pode-se avaliar com maior precisão a porcentagem de contribuição das variáveis envolvidas no processo modelado. A possibilidade de testar a relação pareada das variáveis por meio do cálculo da Razão de Consistência reforça a coerência existente na identificação do grau de participação das variáveis envolvidas no processo.

O mapa de vulnerabilidade natural à erosão, para o município em questão, demonstrou que as áreas mais susceptíveis estão relacionadas ao uso antrópico por agricultura permanente e agropecuária. Estas se concentram prioritariamente no extremo leste, onde se encontram mais as atividades pecuárias, e a nordeste do município, onde predominam os cultivos temporários nas épocas de chuva, associadas à pecuária extensiva nas épocas mais secas. Há também uma mancha vulnerável à norte numa área de caatinga secundária, mais onde predominam a agropecuária. Observa-se que uma pequena área, na ponta do extremo norte, onde se encontram neossolos litólicos com maiores declividades não foram consideradas vulneráveis, pois possuem uma caatinga com maior primitividade.

As áreas com baixa vulnerabilidade restringem-se a uma pequena faixa no centro leste do município, favorecida por uma baixa declividade em áreas de florestas estacionais. Nesta perspectiva, ao identificar o grau de vulnerabilidade natural à erosão de cada área do município de Morro do Chapéu atingiu-se o objetivo almejado. Ao se determinar o grau de participação das variáveis envolvidas ponderando-se as classes com a IMP, e ao precisar a participação dessas variáveis com a AHP demonstrou-se a solidez do modelo proposto e a grande potencialidade das formas de análises utilizadas, devendo-se a partir desta metodologia testar-se em outras realidades.

Entretanto, cabe ressaltar que em municípios com pequenas extensões territoriais o sucesso na aplicação desta técnica, estará na dependência de dados pré-existente em maior escala.

Figura 4

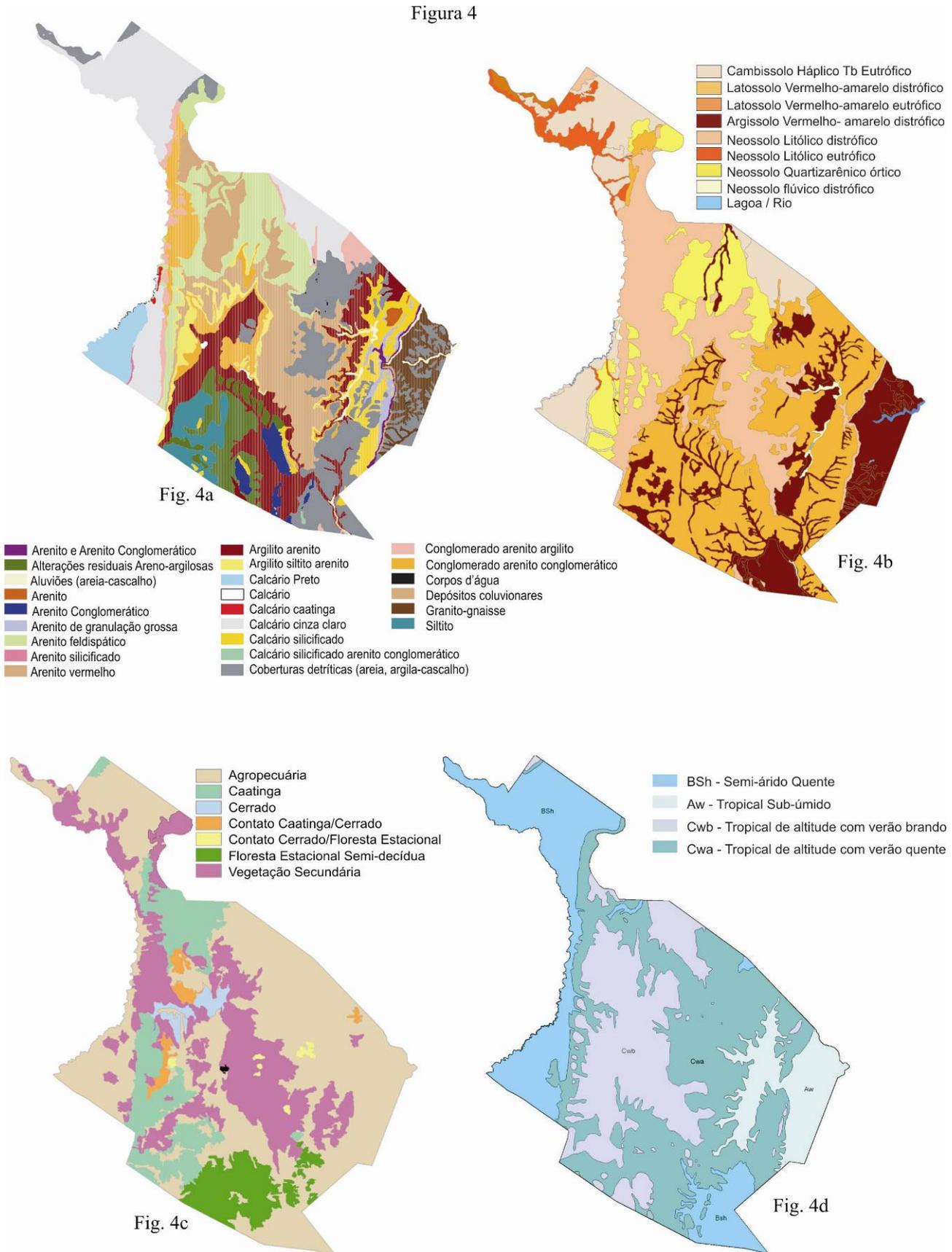


Fig. 4 – Variáveis que junto com a Geomorfologia compõem a modelagem para vulnerabilidade à erosão. 4a - variável geologia; 4b – variável solo; 4c – Vegetação e uso do solo; 4d – clima

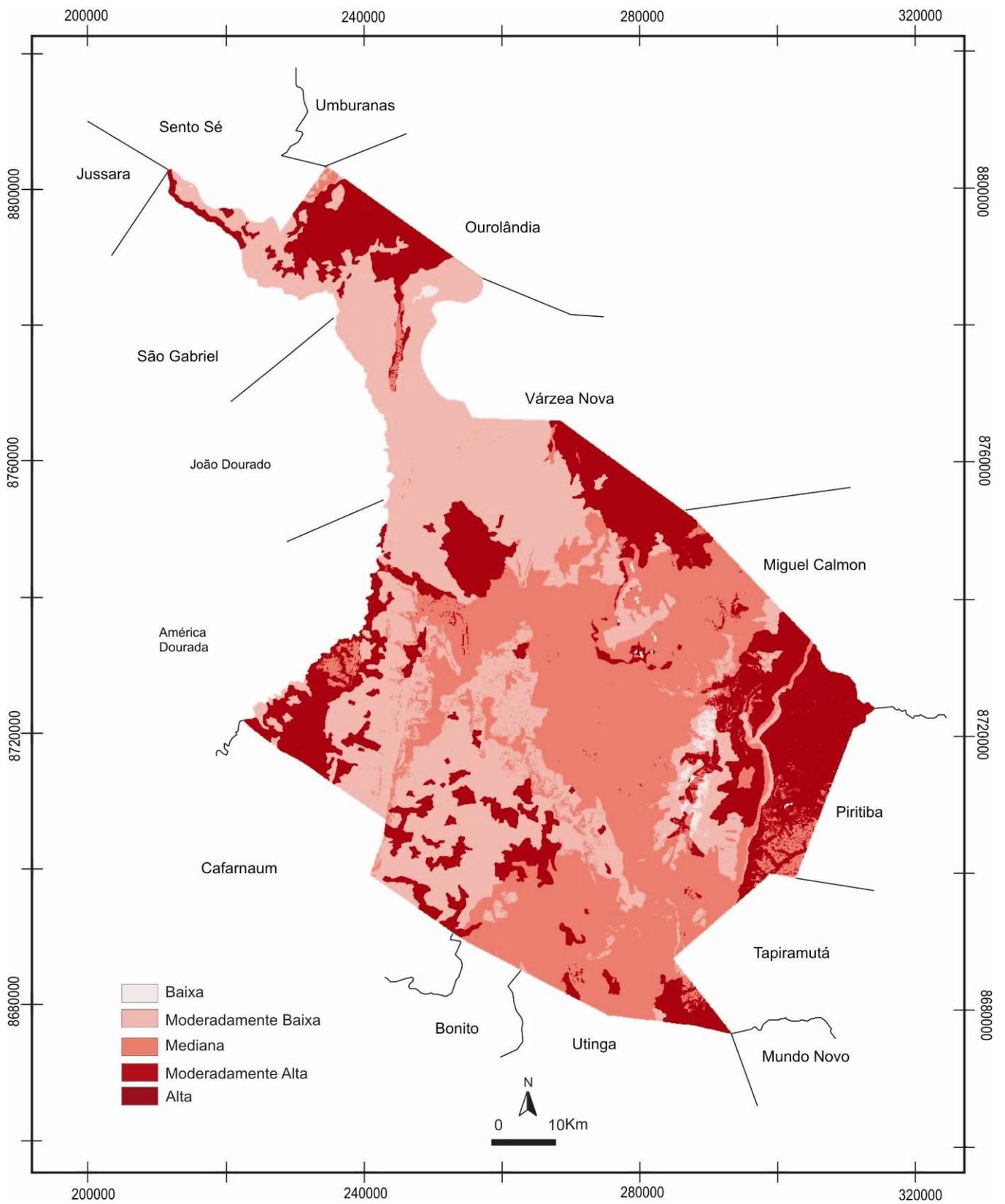


Fig. 5 – Mapa de Vulnerabilidade Natural à Erosão no Município de Morro do Chapéu

6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU L. M. de. *et al.* Escolha de um programa de controle da qualidade da água para consumo humano: aplicação do método AHP. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 2, p. 257-262, 2000.
- BECKER, B. K.; EGLES, C. A. G. **Detalhamento da Metodologia para execução do zoneamento ecológico-econômico pelos estados da Amazônia Legal**. Rio de Janeiro: SAE, 1997.
- BRASIL, Ministério das Minas e Energia. Secretaria - Geral. **Projeto RADAMBRASIL**. Rio de Janeiro: Ministério das Minas e Energia, 1983.
- CAMARA, G., MEDEIROS, J.S. **Geoprocessamento para Projetos ambientais**. São José dos Campos: INPE, 1996.
- CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; HERMANDEZ F. P.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V.; AZEVEDO, L. G.. **Uso de sensoriamento remoto no zoneamento ecológico-econômico**. In: VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Salvador. 14-19 de abril. 1996.
- CUNEGUNDES, J. **Morro do Chapéu**. Salvador: Gráfica da Bahia, 1989.
- IBGE. Censo Demográfico 2000: **Agregado por Setores Censitários dos Resultados do Universo**. Rio de Janeiro: 2a edição, 2003. arquivo digital
- LEEF, E. **Epistemologia Ambiental**. Rio de Janeiro: Vozes, 2002
- LOBÃO, J. S. B. et al. **Geomorfologia com Base na Integração de Dados e Geotecnologias no Município de Morro do Chapéu-Ba**, In: V Simpósio Nacional de Geomorfologia e I Encontro Sul-americano e Geomorfologia. Santa Maria-RS: Universidade Federal de Santa Maria / RS, 2004.
- LOBÃO; J. S. B.; MELO E SILVA, S. C. B.; SILVA, B. C. N. ROCHA, W. de J. S. da F. Aplicações de técnicas de geoprocessamento para a elaboração do mapa de uso do solo do município de Morro do Chapéu-Bahia. **Geografia**, Rio Claro, V.32 n.2 p.275-520 mai./ago. 2007.
- ROCHA, A. J. D.; COSTA, I. V. G. Organizadores. **Projeto Mapas Municipais Município de Morro do Chapéu-Ba**. Ministério de Minas e Energia CPRM-Companhia de Pesquisa de recursos Minerais Prefeitura de Morro do Chapéu-Ba. 1995.
- ROSENBLOOM, E. S. A probabilistic interpretation of the final rankins in AHP. **European Journal of Operation Research**, Amsterdam, v. 96, p. 371-8, 1996.
- ROSS, J. L. S. Geomorfologia Aplicada aos EIAs-RIMAs. In: GUERRA, A. J. T. CUNHA, S. B. (Orgs) **Geomorfologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996
- SAATY, T. I. **A scalling method for priorities in hierarchical structures**. JOURNAL OF Mathematical Psychology, New York, v. 15, p. 234-281, 1978
- SILVA, A. de B. **Sistemas de Informações Georeferenciadas: conceitos e fundamentos**. São Paulo. Unicamp, 1999.
- MDT / SRTM / NASA. Disponível em: ftp://edcsgs9.cr.usgss.gov/pub/data/srtm/South_America/. Acesso em: 13 dez. 2003.
- SUDENE, Carta Topográfica dos municípios de Camirim SC.24-Y-A-IV; Umburanas SC.24-Y-A-V; Mirangaba SC.24-Y-A-VI; Irecê SC.24-Y-C; Jacobina; SC.24-Y-C-III; Canarana, SC.24-Y-C-IV; Piritiba, SC.24-Y-C-V; Morro do Chapéu, SC.24-Y-C-VI, 1995.
- TRICART, J. **A Geomorfologia nos Estudos integrado de ordenação do meio natural**. Boletim Geomorfológico do Rio de Janeiro 34(251): 15-42 out/dez, 1976.
- VARGAS, L. G. An overview of the analytic hierarchy processand its applications. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v. 48, p. 2-8 , 1990.