

Avaliação da susceptibilidade à degradação ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Macaé-RJ com apoio do Geoprocessamento

Assessment of the environmental degradation susceptibility of the Macaé River Hydrographic Basin with support of geoprocessing

Brunna Rocha Werneck*
José Augusto Ferreira da Silva**

Resumo

Este artigo apresenta uma exploração temática sobre a degradação ambiental na bacia hidrográfica do rio Macaé. O objetivo foi fornecer uma base cartográfica sobre temas relevantes dessa bacia, por meio de avaliação ambiental com apoio do geoprocessamento, a fim de apoiar as ações públicas nas decisões ambientais, disponibilizar informações para os planejamentos locais e/ou regionais e subsidiar a elaboração do Plano de Bacia. Utilizou-se o método AHP – Processo Analítico Hierárquico. O Mapa resultante mostra áreas potenciais à degradação ambiental, sendo que as de maior susceptibilidade se encontram no alto e médio curso; e as menos susceptíveis no baixo curso da Bacia.

Palavras-chave: Degradação Ambiental. Bacia Hidrográfica. Rio Macaé. Geoprocessamento.

Abstract

This article presents a thematic exploration of the environmental degradation in the Macaé River Hydrographic Basin. The objective was to provide a cartographic base on relevant issues regarding the Basin, by doing environmental assessment with support of geoprocessing. This aims at providing assistance for public actions in environmental decisions, and suggest applications of data in local and/or regional plannings that may support the development of the Basin Plan. The AHP method – Hierarchic Analytical Process – was used. The resulting map shows the areas of potential environmental degradation, in which those with greater susceptibility are located at the top and middle sections of the river, and the less likely are found on its lower course.

* Geógrafa; Especialista em Solos e Meio Ambiente; Mestre em Engenharia Ambiental pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, IF Fluminense, *campus* Macaé; Pesquisadora em Geoprocessamento no Ceftru/UNB, Brasília-DF, Brasil. E-mail: brunna.werneck@bol.com.br.

** Mestre e Doutor em Geografia, Geógrafo do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, IF Fluminense, *campus* Macaé, RJ, Brasil. Professor e Coordenador do Mestrado em Engenharia Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, IF Fluminense, *campus* Macaé, RJ, Brasil. E-mail: jaferreirasilva@gmail.com.

Key words: Environmental Degradation. Hydrographic Basin. Macaé River. Geoprocessing.

Introdução

Na perspectiva moderna de gestão do território, toda ação de planejamento, ordenação ou monitoramento do espaço deve incluir a análise dos diferentes componentes do ambiente, incluindo o meio físico, o biótico, a ocupação humana e seu inter-relacionamento, de acordo com Câmara e Medeiros (2008). O conceito de *desenvolvimento sustentado*, discutido na Rio-92, estabelece que as ações de ocupação do território devem ser precedidas de uma análise abrangente de seus impactos no ambiente, a curto, médio e longo prazos. Desta forma, a avaliação ambiental objetiva estabelecer estudos específicos sobre regiões de interesse com vistas à preservação, recuperação e conservação de seu patrimônio natural, por meio de ações que levem em consideração a dinâmica do uso e ocupação da terra na área em questão, bem como da análise das potencialidades dos recursos naturais e das restrições de uso desses recursos (CÂMARA; MEDEIROS, 2008).

Para conservar a natureza, particularmente o solo e as águas, é necessário o envolvimento coordenado e integrado de todos. Além disso, na orientação de programas de desenvolvimento de bacias hidrográficas, a ênfase dada à análise econômica sobrepõe-se, muitas vezes, à qualidade de vida, em que a alimentação adequada, o abrigo, o vestuário e o trabalho para todos seriam alguns dos seus parâmetros mais lícitos, mas que, usualmente, não tem merecido o mesmo nível de importância (RESENDE et al., 2007).

Para Silva (2008), no planejamento de uma bacia hidrográfica é indispensável uma avaliação ambiental, obtida por meio das caracterizações fisiográfica e socioeconômica, além da identificação das práticas de uso atual e do manejo dos solos. O tratamento dessas informações espaciais é fundamental para o controle, a organização e a ocupação das unidades físicas do meio ambiente.

Hoje, discutir e representar o comportamento dos fenômenos ambientais, principalmente dos recursos hídricos e do solo, com o propósito de fazer um gerenciamento integrado e ágil, se torna inviável sem os recursos da informática, devido à dinâmica antrópica e à reação de curto prazo do meio ambiente. Para tanto, o desenvolvimento das modernas tecnologias espaciais, dentre as quais se incluem os satélites artificiais, tornou possível "(re)conhecer" a Terra, através da coleta de diferentes dados e da aquisição de imagens da sua superfície, por meio de sensores remotos.

Os dados gerados pelos diversos sensores remotos, sobretudo os orbitais (a bordo de satélites), têm servido como base para o desenvolvimento e realização de projetos associados a atividades humanas, no mundo inteiro e em diversas escalas. Além disso,

estes projetos têm auxiliado a avaliação sobre implicações ambientais, econômicas, sociais, políticas e culturais desses projetos com relação à ocupação dos espaços geográficos, favorecendo a realização do planejamento socioeconômico ambiental sustentável.

Para tanto, o Geoprocessamento, segundo Câmara e Davis (2009), trata da disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica e que está influenciando crescentemente as áreas de cartografia, análise de recursos naturais, transportes, comunicações, energia e planejamento urbano e regional. As ferramentas computacionais para Geoprocessamento, chamadas de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), permitem realizar análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados georreferenciados, tornando possível também automatizar a produção de documentos cartográficos.

No Sistema de Informação Geográfica (SIG), os planos temáticos são selecionados e armazenados, e por meio de cruzamentos de dados, geram novas informações, as quais, interpretadas convenientemente, servirão de base para o planejamento e recomendações de uso e manejo do ambiente. Nesse sentido, é importante que sejam levantadas as características e propriedades dos recursos como solo, água e vegetação, bem como a disposição deles na paisagem geral, o que possibilita uma avaliação do seu potencial e de suas limitações.

Falar em meio ambiente na atualidade sem considerar os recursos do Geoprocessamento é dispensar uma ferramenta importante. Nos dias atuais, a velocidade da informação é muito grande e a movimentação das sociedades no espaço geográfico tem se dado de forma muito dinâmica.

Com este artigo pretende-se fornecer uma base cartográfica sobre os temas de maior relevância na Bacia Hidrográfica do Rio Macaé, por meio de avaliação ambiental, objetivando apoiar as ações públicas nas decisões ambientais e disponibilizar informações para os planejamentos locais e/ou regionais, subsidiando a elaboração do Plano de Bacia.

Área de estudo

A região Norte Fluminense, onde está inserida grande parte da Bacia do Macaé, caracterizou-se, historicamente, pela economia açucareira. No entanto, a partir da década de 70, o petróleo e o álcool trouxeram um novo ciclo de desenvolvimento econômico. A exploração de petróleo da Bacia de Campos vem impulsionando o desenvolvimento econômico dos municípios de Campos dos Goytacazes, Macaé, Quissamã, Carapebus e Rio das Ostras, localizados junto à costa, e de outros municípios do entorno.

A região serrana da Bacia é uma zona de interesse turístico e também tem experimentado crescimento. Os distritos de Lumiar e São Pedro da Serra, no município de Nova Friburgo, e o Sana, no município de Macaé, têm atraído atividades econômicas ligadas principalmente ao setor turístico. A atividade agropecuária apresenta importância econômica relativamente baixa na Bacia, quando comparada à atividade industrial. A agricultura na Bacia se dá em pequena escala e sem critérios, sendo bastante diversificada. Destacam-se as culturas de forrageiras de corte, arroz, acerola, coco verde, citros, maracujá, banana, abóbora, quiabo, aipim, inhame, feijão, milho e cana-de-açúcar (FGV, 2004).

Segundo a FGV (2004), o rio São Pedro é um dos principais afluentes da margem esquerda do rio Macaé e nele estão implantados dois aproveitamentos hidrelétricos, a saber: Usina Hidrelétrica Macabu (UHE) e a UHE Glicério, ambas de propriedade da antiga CERJ – Companhia Energética do Rio de Janeiro. A UHE Macabu é uma usina cuja barragem está localizada no rio Macabu, drenante à Lagoa Feia. O barramento possibilita a transposição das águas do rio Macabu. A UHE Glicério encontra-se desativada, porém a instalação de novas máquinas foi realizada, com vistas à reativação.

Os principais usos da água hoje verificados no rio Macaé referem-se ao abastecimento de água, à diluição de despejos domésticos, industriais e agrícolas, à irrigação e à geração de energia elétrica, e em relação ao uso do solo, as pastagens e as áreas agrícolas vêm avançando em detrimento dos remanescentes de Mata Atlântica (PINHEIRO, 2008).

Estudos existentes apontam que a vazão disponível no rio Macaé é suficiente para o atendimento dos atuais consumidores instalados na Bacia, constituindo, no entanto, preocupação permanente da sociedade que novos empreendimentos venham a comprometer a disponibilidade hídrica para abastecimento público das populações. Mais informações sobre o meio físico e biótico da Bacia, incluindo-se análises detalhadas de clima, vegetação, fauna, ecossistemas terrestres e estuarinos podem ser obtidas nos Estudos de Impacto Ambiental – EIA/RIMA para a implantação da Usina Termoeletrica (UTE) Norte Fluminense e da Usina Macaé *Merchant* da *El Paso* (FGV, 2004), atual UTE Mário Lago.

Em relação ao uso da terra, a Bacia do Rio Macaé encontra-se, em sua maior parte, ocupada por pastagens, e nas áreas mais íngremes, alguns remanescentes de Mata Atlântica. Nas áreas de tabuleiro, mais a nordeste, encontra-se a produção de cana-de-açúcar sobre os Argissolos Amarelos e Vermelho Amarelos. As áreas mais críticas quanto à vulnerabilidade das terras e também com relação à erodibilidade dos solos referem-se às unidades Afloramentos de Rochas, Neossolos Litólicos, Cambissolos e Argissolos Vermelho-Amarelo desenvolvidos em relevo montanhoso e forte ondulado (FGV, 2004).

Por ser um bem essencial e escasso, em termos gerais, torna-se indispensável gerir a água, isto é, assegurar a conservação do meio ambiente e dos recursos naturais pela valorização da água e dos meios hídricos, controlando a utilização e a disposição da mesma no meio ambiente depois de requerida pelas diferentes atividades, visando sempre ao múltiplo aproveitamento que venha ao encontro do desenvolvimento sustentável (ASSIS, 2004). Para isto, a bacia hidrográfica se constitui na unidade mais adequada para o planejamento e gestão dos recursos hídricos. A administração desses recursos torna-se imprescindível e requer fundamentos teóricos, legais e institucionais.

Considerar uma bacia hidrográfica como uma unidade de planejamento, portanto, impõe abordar todos seus elementos (água, solo, flora, fauna, uso e ocupação do solo, por exemplo) e compreendê-la como uma totalidade composta por elementos naturais e sociais, inter-relacionados e dinâmicos.

O gerenciamento de bacia hidrográfica implica, necessariamente, o gerenciamento de recursos hídricos, de acordo com Assis (1995 apud PINHEIRO, 2008). A adoção da bacia hidrográfica, nesta perspectiva, pode contribuir de forma significativa para a integração do sistema de gestão ambiental com o sistema de gestão dos recursos hídricos.

Segundo Resende et al. (2007), o planejamento e/ou exercício da conservação têm, frequentemente, enfoques reducionistas e aplicam-se apenas a segmentos da paisagem geral, o que leva ao desequilíbrio do ambiente natural por erosão, assoreamento e eutrofização das águas. Portanto, a bacia de drenagem parece localizar, de forma natural, o problema da conservação dos recursos naturais em razão da interdependência dos atributos bióticos e abióticos no seu interior.

A Bacia Hidrográfica do Rio Macaé pertence à Região Hidrográfica VIII do Estado do Rio de Janeiro, de acordo com a Resolução n. 18 do Conselho Estadual de Recursos Hídricos de 2006. A partir dessa nova divisão hidrográfica, o estado do Rio de Janeiro passou a ser dividido em 10 regiões hidrográficas, assim apresentadas: baía de Ilha Grande, Guandu, Médio Paraíba do Sul, Piabanha, baía de Guanabara, Lagos e rio São João, rios Dois Rios, Macaé e das Ostras; Baixo Paraíba do Sul e Itabapoana. A referida resolução teve como objetivo principal gerir recursos hídricos e beneficiar diretamente a população e indiretamente as indústrias, condomínios, mineradoras, concessionárias e outros usuários que captam a água na forma bruta dos rios, lagoas e poços, e pagam por ela (MOTÉ, 2008 apud PINHEIRO, 2008). A Bacia Hidrográfica do Rio Macaé pode ser visualizada na Figura 1.

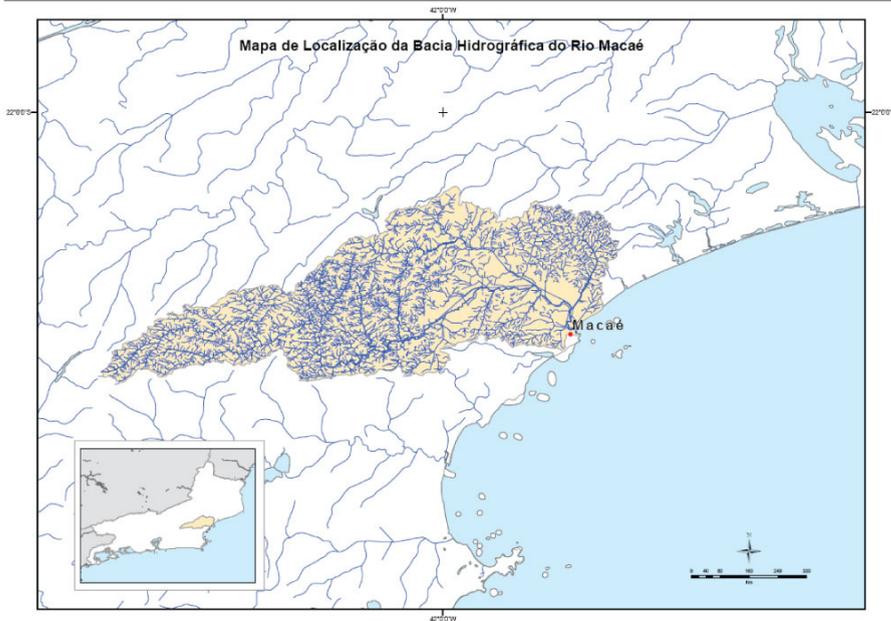


Figura 1: Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Rio Macaé

Fonte: B. Werneck, 2010

As pesquisas envolvendo a Bacia Hidrográfica do Rio Macaé têm trazido discussões a respeito da qualidade das águas e dos solos e sobre conflitos sociais na gestão dos Recursos Hídricos entre outros temas, publicados pelo Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego (2007 tais como FERREIRA et al., 2007; PORTELA; BRAGA, 2007; PINHEIRO et al., 2007; RODRIGUES et al., 2007; PINHEIRO, 2008). Já a UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro, através do LAGESOLOS – Laboratório de Solos, tem produzido artigos envolvendo a caracterização do uso da terra da bacia do Rio Macaé.

A Bacia Hidrográfica do Rio Macaé apresenta uma diversidade de ambientes que vão desde as áreas serranas da Serra do Mar, no limite norte, passando por montanhas, morrotes, morros, colinas e planícies, até as áreas dos cordões litorâneos nas proximidades de Macaé. Ela envolve uma grande diversidade de solos, totalizando 27 unidades de mapeamento, tendo como dominantes Argissolos, Cambissolos, Latossolos, Gleissolos, Organossolos, Espodossolos e os Neossolos Flúvicos e Litólicos. Em sua maior parte, encontra-se ocupada por pastagens e nas áreas mais íngremes, alguns remanescentes de Mata Atlântica (FGV, 2004).

Material e método

Material

- ✓ Bases cartográficas da Bacia do Rio Macaé e do município de Macaé e região;
- ✓ Arquivos em formato shapefile referentes a variáveis ambientais (Geomorfologia (ZEE/RJ), Uso da terra (UFRJ) e Geologia - shapefile GEOBANK (CPRM) – cenas SF_23 e SF_24);
 - ✓ Imagens de satélites HRC e CCD Cenas:
 - ✓ 149-125_20080725_CBERS2B_CCD_B234_RES10M-REG.tif (25/07/2008) e CBERS_2_CCD1XS_150_125_20060615_BAND234_GEO.img (15/06/2006) do CBERS-2B;
 - ✓ Imagens refinadas do SRTM - TOPODATA/INPE – cenas: 22_42_SN e 22_435SN;
 - ✓ Softwares: ArcGIS 9.3 - licença disponível no IFF – (ESRI, 2010), Microsoft Excel 2007 e Google Earth 2010;
 - ✓ Hardware: microcomputador, scanner, plotter, impressora (disponível no Laboratório de Geomática do IFF).

Método

Realizou-se o levantamento de dados de ordem física para o reconhecimento da área de estudo, tendo sido utilizadas cartas topográficas e mapas temáticos, oriundos de instituições de pesquisa (IBGE, ANA, UFRJ, CPRM, INPE). Os mapas de cruzamento de dados foram produzidos com o apoio do Geoprocessamento, com o auxílio de ferramentas específicas, utilizando para tanto o *software ArcGIS 9.3*.

O cruzamento de dados (*overlay mapping*) constitui uma das ferramentas mais vantajosas dos Sistemas de Informações Geográficas por fornecer a sobreposição da informação em um arquivo agrupado. Os mapas temáticos foram reprojatados para a Projeção Cônica Equivalente de Albers, pois a Bacia do Rio Macaé encontra-se dividida entre os fusos 23 e 24S. A Projeção Cônica Equivalente de Albers é particularmente indicada para a representação de regiões de grande desenvolvimento em longitude. Esta projeção pretere quase todas as outras projeções cônicas, sejam equivalentes ou não. As únicas restrições que lhe são feitas resultam de ela não ser conforme e de não servir à representação das regiões polares, como as projeções cônicas em geral. Como projeção equivalente, é aplicada na construção de cartas, úteis ao estudo dos problemas geográficos. A sua grande precisão em escala, além da equivalência, torna a projeção uma das mais preferidas inclusive para cartas de utilidade geral (SILVA e JUNIOR, 1994). A Figura 2 demonstra a etapa do cruzamento de dados.

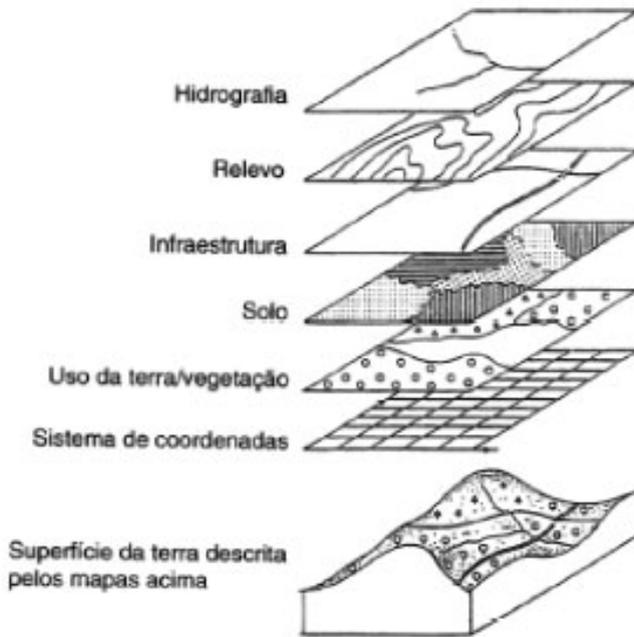


Figura 2: O conceito de overlay: SIG's permitem a sobreposição/cruzamento de mapas distintos
 Fonte: Andrade et al., 2006

A escala de mapeamento do Mapa de Susceptibilidade à Degradação Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Macaé foi de 1:50.000, utilizado para a comparação do mapa com as imagens de sensores remotos orbitais do CBERS – 2B sensor CCD (Câmera Imageadora de Alta Resolução), com resolução espacial de 20m e restauração de pixel a 10m, segundo dados do INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2009a).

Para a confecção do Mapa de Declividade, foram utilizados os dados sobre declividade disponíveis no *site* do projeto TOPODATA do Departamento de Geração de Imagens do INPE. Como resultados desse projeto do INPE, foram disponibilizados, gratuita e irrestritamente, produtos como mapas de declividade e de orientações de vertentes e imagens TIFF de cunho meramente pictórico. Os arquivos para *download* encontram-se compactados no formato “*.zip” sendo necessário descompactá-las para seu uso (INPE, 2009b).

Após a conversão para o ambiente SIG, com o uso do software ArcGIS 9.3, o *grid* do INPE foi recortado com a utilização do *shapefile* do limite da bacia. Nesse processo foi gerado um arquivo com o mesmo recobrimento de declividade gerado a partir dos vetores. Posteriormente, foi elaborado um mosaico com as duas cenas da declividade recortadas com o limite da bacia.

Para o mapa representar de forma mais real as condições encontradas na Bacia Hidrográfica do Rio Macaé, foi preciso ponderar os dados. Com este propósito, foi utilizado o método AHP – Processo Analítico Hierárquico – proposto por Saaty (1977 apud SANTOS, 2007). Através da decisão do problema em níveis hierárquicos, este método determinou, por meio da síntese dos valores dos agentes de decisão, uma medida global para cada alternativa, priorizando-a ou classificando-a ao finalizar o método (GOMES et al. 2004 apud SANTOS, 2007).

As notas adotadas para as classes de variáveis temáticas foram obtidas por meio de estudos sobre os temas em questão e opiniões de outros profissionais da área. Os pesos foram desenvolvidos por uma série de comparação de pares, de importância relativa de cada um dos fatores à adequabilidade dos pixels à atividade que está sendo avaliada. Estas comparações de pares são analisadas produzindo um conjunto de pares que somam um (CALJURI; LOURES, 2006).

Os fluxogramas das Figuras 3 e 4 ilustram o passo a passo da base do mapa, realizado no ArcGIS 9.3.

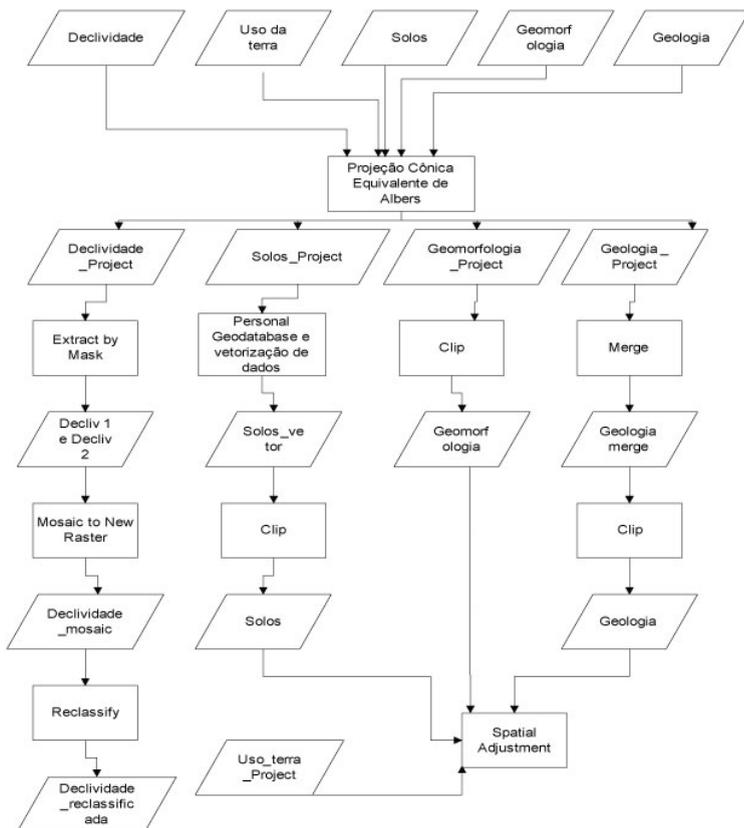


Figura 3: Fluxograma do passo a passo com as variáveis

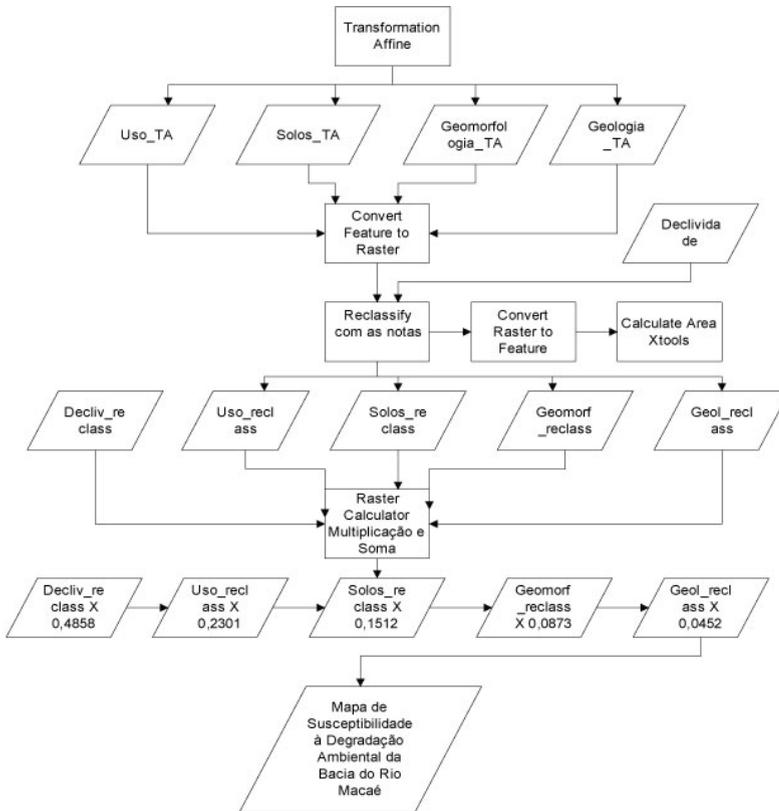


Figura 4: Fluxograma do passo a passo com as variáveis transformadas

Resultados e Discussão

As variáveis temáticas selecionadas no presente artigo foram adaptadas para melhor representar a área de estudo e sua posterior análise. Para tanto, a homogeneização das escalas dos mapas foi de fundamental importância, pois ajusta a variável para uma escala padrão, definida em 1:50.000. A variável temática declividade será mostrada na figura 5, o que facilita a visualização do grau de inclinação do relevo em intervalos de classes. É possível verificar que as maiores declividades encontram-se no alto e médio curso da bacia, sendo visível a baixa declividade no baixo curso e em toda a margem retilinizada no Rio Macaé até sua foz. Observa-se que a declividade é o principal fator do relevo condicionante da erosão. Sua variação determina formas e feições da paisagem, ditando também as potencialidades de uso e restrição ao aproveitamento das terras. As áreas de baixa declividade estão localizadas no médio e baixo curso da Bacia, nas regiões marginais ao leito do rio. Essas áreas correspondem a declividades de 0 a 3% e 3 a 8%. Já parte do médio e o alto curso da Bacia possuem declividades predominantemente acima

de 20%, pois são áreas que apresentam superfícies inclinadas, geralmente com relevo ondulado. É preciso ressaltar que a declividade é uma variável de grande importância na análise ambiental, pois é uma variação de altitude entre dois pontos do terreno em relação à distância que os separa, o que enriquece mais a informação, caso tivesse optado somente pela elevação da bacia. A maior parte da Bacia encontra-se com declividade acima de 20%, sendo 1.187,42 km² (69%). As áreas correspondentes às classes de declividade encontram-se na Tabela 1:

Tabela 1: Áreas das classes de declividade da Bacia

Classe de Declividade (%)	Área (km ²)	Área (%)
0 a 3	147,76	8,62
3 a 8	113,56	6,63
8 a 20	265,14	15,47
20 a 45	561,95	32,80
45 a 75	500,89	29,24
Acima de 75	124,58	7,30

A variável Uso da Terra na Bacia do Rio Macaé está ilustrada na figura 5. A Bacia do Rio Macaé é predominantemente coberta por fragmentos florestais, como indica a Tabela 2. No alto curso da bacia o uso é bem destacado pelos fragmentos florestais; no médio curso os usos pasto natural e áreas agrícolas correspondem à grande parte dessas áreas e manchas de áreas urbanizadas podem também ser visualizadas, uma vez que os distritos de Macaé encontram-se nessas proximidades. O baixo curso da bacia está inserido no uso da terra de pasto natural, compreendendo também fragmentos florestais e manchas de áreas urbanizadas. É no baixo curso da bacia, próximo à foz do Rio Macaé, que se encontra a cidade de Macaé. As áreas de pasto manejado encontram-se principalmente na região do extremo leste da bacia, porém este uso não é muito significativo na bacia. O pasto natural se comporta com mais significância na bacia. Os usos menos frequentes são: manguezal, coberturas arenosas e vegetação de restinga. Por ser uma área litorânea, verificamos estes usos próximos à foz do rio Macaé.

Tabela 2: Áreas das classes de uso da terra da Bacia

Classe de Uso da terra	Área (km ²)	Área (%)
Coberturas Arenosas	2,79	0,16
Corpo d'água	13,76	0,80
Fragmentos Florestais	691,38	40,36
Manguezal	1,43	0,08
Pasto Manejado	79,14	4,61
Pasto Natural	500,74	29,23
Solo Exposto	9,00	0,52
Vegetação de Restinga	4,08	0,23
Áreas Agrícolas	326,05	19,03
Áreas Inundáveis	16,40	0,95
Áreas Urbanizadas	50,61	2,95

As classes de solos da Bacia Hidrográfica do Rio Macaé podem ser visualizadas na Figura 5. De acordo com a EMBRAPA (2003), as classes e as respectivas áreas encontradas na Bacia Hidrográfica do Rio Macaé estão demonstradas na Tabela 3. É possível destacar que a classe de solo mais representativa na bacia é a de Cambissolos Háplicos Tb Distróficos, que são solos com argila de atividade baixa e baixa saturação por bases na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B, segundo a EMBRAPA (2006). Esta classe encontra-se principalmente no alto curso da bacia. Outra classe de solo significativa na bacia é a de Latossolos Vermelho-Amarelos Distróficos que são solos constituídos por material mineral, com horizonte B latossólico imediatamente abaixo de qualquer um dos tipos de horizonte diagnóstico superficial, exceto hístico (EMBRAPA, 2006). Essa classe é verificada nas áreas do extremo leste e no baixo curso da bacia. As demais classes de solos estão distribuídas pela bacia de forma diversificada.

Tabela 3: Áreas das classes de solos da Bacia

Classes de Solos	Área (km ²)	Área (%)
Neossolos Litólicos Distróficos	109,01	6,36
Latossolos Vermelho-Amarelos Distróficos	378,37	22,08
Gleissolos Háplicos Tb Distróficos	71,34	4,16
Neossolos Flúvicos Tb Distróficos	32,02	1,86
Argissolos Vermelho-Amarelos Distróficos	195,73	11,42
Cambissolos Háplicos Tb Distróficos	782,98	45,70
Argissolos Vermelhos Eutróficos	10,73	0,62
Gleissolos Háplicos Ta Eutróficos	48,28	2,81
Organossolos Háplicos Hêmicos	46,09	2,69
Afloramento de Rochas	39,25	2,29

A Geomorfologia da Bacia do Rio Macaé está ilustrada na figura 5, e configura uma área de importantes variações de formas, como relevo montanhoso no alto curso, colinoso no médio curso e de planícies no baixo curso do rio Macaé. O Domínio Montanhoso (montanhas, maciços costeiros, morros elevados e *inselbergs*) é a classe geomorfológica predominante no alto e médio curso da bacia, o que pode ser verificado na Tabela 4, apresentando uma área correspondente a 879,41 km². Uma outra classe que merece destaque é a do Domínio de Planícies Fluviais (planícies fluviais) que compreende áreas marginais do alto e médio curso da bacia, com uma área de 415,38 km².

Tabela 4: Áreas das classes de relevo da Bacia

Classes de Relevo	Área (km ²)	Área (%)
Afloramento Rochoso	6,28	0,36
Cordões Arenosos, dunas e restingas	0,60	0,03
Domínio Colinoso (colinas)	127,84	7,46
Domínio de Maciços Costeiros (montanhas, maciços costeiros, morros elevados e <i>inselbergs</i>)	32,91	1,92
Domínio de Planícies Costeiras Fluviomarinhas (planície fluviomarinha)	231,53	13,51
Domínio de Planícies Fluviais (planícies fluviais)	415,38	24,24
Domínio Montanhoso (montanhas, maciços costeiros, morros elevados e <i>inselbergs</i>)	879,41	51,33
Água	3,46	0,20
Áreas Úmidas	16,39	0,95

A variável temática Geologia, mostrada na figura 5, encontra-se na Bacia em sua maior proporção pela Classe de Litologia denominada de Paraíba do Sul (unidade terrígena com intercalações carbonáticas), como apresentado na Tabela 5. Esta classe ocupa o alto, e grande parte do médio curso da bacia. A Classe Granito Sana e Granito São Pedro é também significativa, localizada em áreas de maiores elevações e declividades, no alto curso da Bacia. As classes de geologia apresentadas são relevantes, principalmente, como afloramentos de rochas. A maior ou menor resistência da litologia é um fator preponderante para a degradação ambiental, assim como os processos erosivos derivados. A classe de Geologia menos representativa da bacia, localizada no baixo curso, próxima à foz do rio Macaé, é a que compreende os Depósitos Litorâneos Indiferenciados (areia e argila), com uma área de 5,45 km².

Tabela 5: Áreas das classes de litologia da Bacia

Classe de Litologia	Área (km ²)	Área (%)
Anfibolito, gnaiss, kinzigito, rocha calcissilicática, xisto (Unidade Búzios)	86,19	5,03
Areia, argila (Depósitos litorâneos indiferenciados)	5,45	0,31
Areia, argila, cascalho (Depósitos colúvio – aluvionares)	172,35	10,06
Areia, argila, silte (Depósitos flúvio – lagunares)	126,5	7,38
Charnokito, gnaiss, kinzigito, mármore, rocha calcissilicática, xisto, quartzito, metacalcário, metacalcário dolomítico, metagrauvaca, metacalcário calcítico (Paraíba do Sul, unidade terrígena com intercalações carbonáticas)	897,43	52,38
Granito (Granito Sana e Granito São Pedro)	186,91	10,91
Granitoide (Desengano, Búzios, Granito Carapebus e Suíte Desengano)	96,34	5,62
Metagranito, metagranodiorito (Unidade região dos lagos)	136,58	7,97

A Figura 5 ilustra o cruzamento das variáveis para a obtenção do Mapa de Susceptibilidade à Degradação Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Macaé.

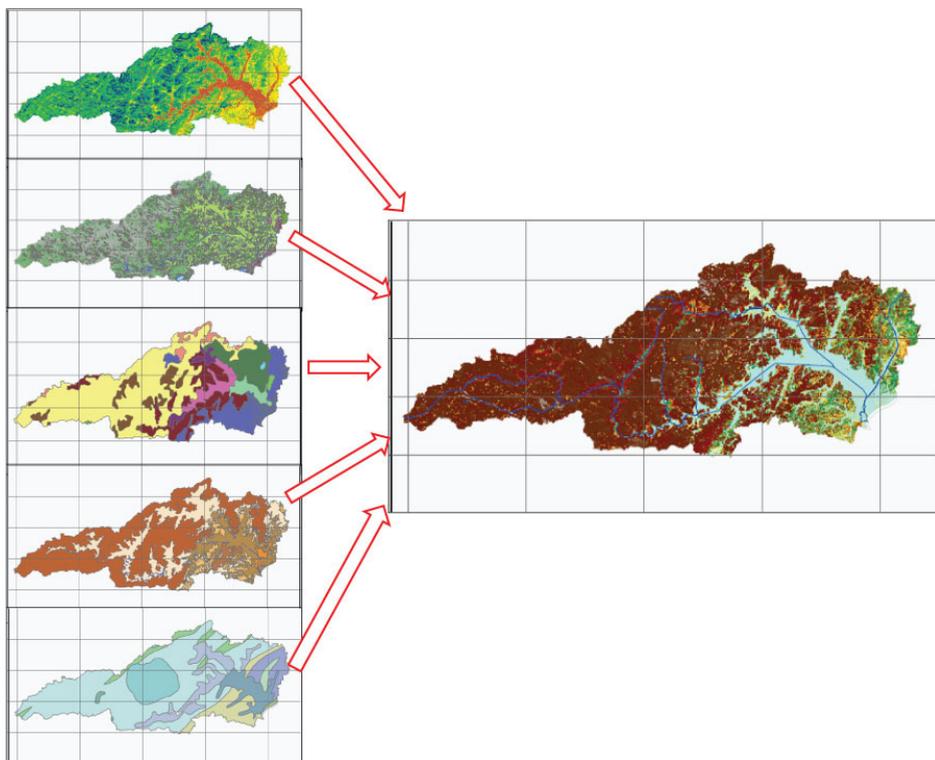


Figura 5: Mapas das Variáveis e o Mapa de Cruzamento Final

Fonte: B. Werneck, 2010

Considerações finais

Como os modelos são formas simplificadas de representação da realidade, os modelos baseados na sobreposição por pesos permitem uma combinação mais flexível dos mapas do que as operações baseadas somente na lógica booleana, ou seja, falso ou verdadeiro. As tabelas de notas e os pesos dos mapas podem ser ajustados de forma a refletirem o julgamento de especialistas no domínio da aplicação em análise. O tipo de classificação (notas e pesos) possui como limitação o fato de os pesos serem considerados constantes ao longo de um plano de informação, o que muitas vezes não ocorre quando se considera o ambiente de forma integrada. Muitas vezes, a conjunção de parâmetros numa dada localização faz com que um determinado parâmetro, representado no plano de informação, passe a ter menos importância em uma dada região. A desvantagem do método é a sua natureza linear.

Em relação ao sistema de referência adotado, a Projeção Cônica Equivalente de Albers pode, então, ser utilizada principalmente para futuros trabalhos que envolvam

inserção de informações, limitadas antes pelos fusos existentes na bacia. Essas informações podem ser retiradas em campo com GPS ou mesmo obtidas por outros *softwares* de imagens de satélite, em que os pontos podem ser visualizados e inseridos no SIG.

Graças ao Mapa de Susceptibilidade à Degradação Ambiental é possível inferir que a Bacia Hidrográfica do Rio Macaé está, em sua maior parte do alto e do médio curso, inserida em áreas de grande susceptibilidade à degradação ambiental. É preciso destacar que as variáveis de maior peso foram a declividade e o uso da terra respectivamente, e o menor peso considerado foi para a variável geologia. Isso indica que áreas de maior declividade são mais susceptíveis à degradação, considerando os processos erosivos e, conseqüentemente, o seu transporte de sedimentos para os corpos d'água. Áreas de uso da terra classificadas por fragmentos florestais associadas a declividades superiores a 20% compõem as áreas mais susceptíveis à degradação da bacia.

Como recomendação, do ponto de vista do Geoprocessamento, o cruzamento das variáveis pode ser mais bem estudado, por meio da transformação de seus planos de informações com operações associadas a outros métodos lógicos. Assim, a lógica *Fuzzy*, fundamentada na teoria dos conjuntos adequada ao tratamento das incertezas, é utilizada para a obtenção de valores objetivos no processamento de variáveis subjetivas ou empíricas. Isso faz com que se tenha uma distribuição do fenômeno, diferentemente da lógica booleana, que também não foi utilizada no presente estudo.

Uma vez reconhecidas as áreas susceptíveis à degradação ambiental, é possível traçar melhores estratégias para o gerenciamento integrado e participativo dos recursos naturais da bacia e, assim, contribuir com referenciais cartográficos e temáticos como subsídio à elaboração de instrumentos para o gerenciamento dos recursos naturais e em especial das águas. A presente dissertação é de suma importância para a implantação do Plano de Bacia da Região Hidrográfica VIII, principalmente no que se refere aos processos erosivos e sedimentológicos, uso do solo e cobertura vegetal, entre outros.

Referências

ANDRADE, H. et al. Geoprocessamento aplicado a Solos e o Meio Ambiente. Lavras: UFLA/FAEPE, 2006. 58p.

ASSIS, F. O. Bacia Hidrográfica do Rio Quilombo: dejetos de suínos e impactos ambientais. RA'E GA, Curitiba: Editora UFPR, n. 8, p. 107-122, 2004.

BOLETIM DO OBSERVATÓRIO AMBIENTAL ALBERTO RIBEIRO LAMEGO. Campos dos Goytacazes: Essentia Editora, v.1, n.2, jul/dez. 2007. 197p.

CALIJURI, M. L.; LOURES, S. S. P. Análise Estratégica de Decisão. UFV. Apostila de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Laboratório de Pesquisa em Sistema de Informação Geográfica. Maio de 2006.

CÂMARA, G.; DAVIS, C. Geoprocessamento para Projetos Ambientais. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Capítulo 1.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. Geoprocessamento para Projetos Ambientais. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Capítulo 10.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Carta de Reconhecimento de Baixa Intensidade dos Solos do Estado do Rio de Janeiro. Folhas Rio de Janeiro e Macaé. Rio de Janeiro. 2003. 2 Mapas. Escala: 1:250.000.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.

ESRI. Environmental Systems Research Institute. ArcGIS 9.3 Desktop, 2010.

FGV. Projetos. Plano Preliminar de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Macaé. Relatórios 2 e 4. SEMADUR/SERLA/UTE NORTE-FLUMINENSE S.A. Rio de Janeiro: FGV, 2004. Disponível em: <<http://www.cefetcampos.br/observatorioambiental/informacoes-do-comite-de-bacia-hidrografica-dos-rios-macaee-das-ostras/plano-preliminar-de-recursos-hidricos-da-bacia-do-rio-macaee/2o%20Relatorio%20-%20Estudo%20de%20Cheias.pdf>> Acesso: 15 jun. 2008.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Descrição do CBERS1, 2 e 2B. Disponível em: <<http://www.inpe.br>>. Acesso em 27/07/2009 a.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Topodata. Disponível em: <[HTTP://www.inpe.br](http://www.inpe.br)>. Acesso em 27 jul. 2009 b.

PINHEIRO, M. R. C. Avaliação dos usos preponderantes e da qualidade da água como subsídios para os instrumentos de Gestão dos Recursos Hídricos aplicada à Bacia Hidrográfica do Rio Macaé. 2008. 108 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Centro Federal de Educação Tecnológica de Campos – RJ. Macaé, 2008.

RESENDE, M. et al. Pedologia: Base para distinção de ambientes. 5ª ed. rev. Lavras: Editora UFLA, 2007.

SANTOS, A. R. ArcGIS 9.1. Total. Aplicação para dados espaciais. Vitória: Fundagres, 2007. 226p.

SILVA, A. S.; JUNIOR, J. G. Representações Cartográficas. Viçosa: UFV, 1994.

SILVA, A. B. et al. Caracterização do Meio Físico da Microbacia Quatro Bocas, em Angelim, PE, e sua Quantificação por Sistema de Informação Geográfica. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.34, n.1, p.109-117, jan. 1999 Disponível em: <[http://atlas.sct.embrapa.br/pab/pab.nsf/1770a78fe96fd5fd032564cd004a56df/926e87ca06169d9303256752005ff907/\\$FILE/pab401_96.pdf](http://atlas.sct.embrapa.br/pab/pab.nsf/1770a78fe96fd5fd032564cd004a56df/926e87ca06169d9303256752005ff907/$FILE/pab401_96.pdf)>. Acesso em: 20 jun. 2008.

