



CADMA 2006

Costa, T.C.C; Guimarães, S.P. - DELINEAMENTO E PARAMETRIZAÇÃO AMBIENTAL...

Área 4 – TRN

Área: 4 - Tecnologias para Proteção dos Recursos Naturais

## **Delineamento e Parametrização Ambiental de Microbacias Hidrográficas para o Estado do Rio de Janeiro**

Thomaz Correa e Castro da Costa  
Embrapa Milho e Sorgo  
Rodovia MG 424, km 45  
CEP. 35701-970, Sete Lagoas, MG  
Tel: 31-37791049  
Email: [thomaz@cnpms.embrapa.br](mailto:thomaz@cnpms.embrapa.br)

Saulo Pedrinha Guimarães  
Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)  
Departamento de Geologia  
Email: [saulopg@superig.com.br](mailto:saulopg@superig.com.br)

---

**Resumo:** Bacias hidrográficas são unidades de gestão e planejamento ambiental para monitoramento hidrológico, conservação do solo e disciplinamento do uso da terra, devido à importância na produção de água em qualidade e quantidade. A Política Nacional dos Recursos Hídricos (Lei 9433 de 1997, Decreto 2612 de 1998) tem como finalidade organizar a gestão de BH entre usuários de água, envolvendo setores produtivos e da sociedade civil, em diferentes esferas administrativas, o que exige uma subdivisão do território em Grandes Bacias, Sub-bacias e Microbacias hidrográficas. Para o Estado do Rio de Janeiro existem delineamentos de BH em regiões específicas, resultantes do programa de despoluição da Baía de Guanabara (PDBG) e do projeto GEROE. Para uma subdivisão em maior escala e para todo o Estado do Rio, foi executada uma delimitação automática com edição de sub-bacias hidrográficas, sendo estas bacias posteriormente parametrizadas com a finalidade de indicar o grau de vulnerabilidade por meio de uma análise multicritério. O resultado indica que as bacias mais vulneráveis concentram-se na região noroeste e norte do Estado, sendo que as que apresentaram maior grau de vulnerabilidade acompanham o Rio Paraíba do Sul da região central do Estado até sua foz, sendo considerada, portanto, uma indicação de áreas para programas de recuperação ambiental.

Palavras-chave: Delimitação automática, bacia hidrográfica, suporte a decisão

---

### **INTRODUÇÃO**

A unidade física natural, Bacia Hidrográfica (BH), é a área que drena as águas das chuvas por ravinas, canais e tributários, para um curso principal, com vazão afluyente convergindo para uma única saída e desaguando diretamente no mar, em um grande lago, ou em um rio. As sub-bacias e microbacias podem ser classificadas conforme a menor ordem dos rios contidos na mesma. Uma bacia de 3ª ordem, por exemplo, contém ravinas (1ª ordem), canais (2ª ordem) e tributários perenes (3ª ordem) (Rocha, 1991).

Bacias, sub-bacias e microbacias hidrográficas podem ser consideradas unidades de gestão e planejamento ambiental (Collares, 2000), tanto no meio rural como urbano, pela possibilidade de monitoramento hidrológico, de planejamento de conservação do solo e do disciplinamento do uso da terra, devido a sua relação com o ciclo hidrológico, e sua importância na produção de água em

qualidade e quantidade; por ser um compartimento do ambiente que contribui no controle da captação, armazenamento e drenagem da água associada aos fatores de relevo, solo, cobertura da terra e clima.

A Política Nacional dos Recursos Hídricos (Lei 9433 de 1997, Decreto 2612 de 1998) dispõe sobre a criação de comitês e agências de bacias e a participação de organizações civis no planejamento ambiental e na elaboração de planos diretores para bacias hidrográficas. Estratificações baseadas na caracterização ambiental e socioeconômica são necessárias para definir a escala de trabalho compatível com os objetivos de gestão (Collares, 2000).

A estrutura organizacional desta política se configura em um Conselho Nacional de Recursos Hídricos, com Comitês de Bacias Hidrográficas, Agências de Bacias e Organizações Civis de Recursos Hídricos. Esta estrutura induz, para sua gestão, uma subdivisão do território em Grandes Bacias, Sub-bacias e Microbacias hidrográficas (Galvão e Meneses, 2005).

O Conselho Nacional de Recursos Hídricos-CNRH, buscando padronizar uma metodologia apropriada para gestão dos recursos hídricos em todo o território, resolve adotar a metodologia de Pfafstetter para subdivisão e codificação de bacias hidrográficas (Resolução 30 de 2002).

O Estado do Rio de Janeiro adotou outra metodologia para estabelecer unidades básicas de planejamento e intervenção da gestão ambiental, compartimentando o território em 7 (sete) Macrorregiões Ambientais, formadas por uma ou mais sub-bacias hidrográficas, oficializadas pelo Decreto Estadual 26.058 de 2000 (Hora & Teuber, 2001). A divisão em macrorregiões levou em conta critérios técnicos-ambientais, administrativos e políticos.

Existem outros levantamentos em regiões específicas do Estado do Rio de Janeiro, resultantes do programa de despoluição da Baía de Guanabara (PDBG) e do projeto GEROE (FCIDE), que também chegaram a delimitação de sub-bacias.

Para atender ao objetivo do Projeto "Estratégias e Ações para Conservação da Floresta Atlântica do Estado do Rio de Janeiro" que exige unidades de gestão ambiental de maior escala, foi executada neste trabalho uma delimitação automática com posterior edição, objetivando delineamentos de sub-bacias de menor ordem, não executados até o presente para o Estado do Rio de Janeiro. Com a correção do modelo de elevação, e uma rede hidrográfica confiável é possível obter resultados com razoável exatidão neste processo.

A parametrização de bacias hidrográficas resume-se no conhecimento de variáveis morfométricas (Teixeira e Cruz, 2005; Ribeiro e Salomão, 2003); na sua relação com fatores como o solo, uso e cobertura da terra e clima (Teixeira e Cruz, 2005; Meirelles et. al., 2005). O comprimento médio dos canais de cada ordem, densidade de drenagem, amplitude altimétrica (Milani e Canali, 2000), feições topográficas e tipos de solo (Ribeiro e Salomão, 2005), Índice de Circularidade, a declividade média e a densidade de drenagem (Rocha, 1991), são exemplos de variáveis morfométricas com a finalidade de indicar o grau de vulnerabilidade ambiental em BH ou sua aptidão para atividades agrárias.

A densidade de drenagem, por exemplo, é um indicador da eficiência natural ao escoamento superficial de água em uma bacia hidrográfica, que interfere na probabilidade de ocorrência de cheias, na intensidade de processos erosivos e também na permeabilidade (transmissibilidade) do terreno da bacia. Por este parâmetro pode-se compreender melhor a susceptibilidade aos processos erosivos em determinada bacia, assim como a dinâmica do escoamento de águas superficiais.

Assim, este trabalho teve como objetivo:

- delimitar, automaticamente, sub-bacias do Estado do Rio de Janeiro;
- fornecer alguns parâmetros ambientais por Sub-bacias; e
- indicar o grau de vulnerabilidade de cada sub-bacia.

## MATERIAL E MÉTODOS

Para a delimitação automática e a parametrização de sub-bacias foram utilizados o Modelo de Elevação da Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) corrigido para o Estado do Rio de Janeiro (Costa et. al., 2005), Cartas Topográficas, escala 1:50.000, do Levantamento Sistemático da Divisão do Serviço Geográfico do Exército - DSG e da FIBGE, Mapeamentos de Uso e Cobertura da Terra (Fundação... 2000; Fundação SOS Mata Atlântica, 2002), dados do Censo Agropecuário de 1996 da FIBGE (IBGE, 1995) e uma técnica de suporte a decisão conhecida como análise multicritério (Eastman, 1995).

### *Delimitação Automática de bacias Hidrográficas*

Para o delineamento de sub-bacias hidrográficas foi utilizado o algoritmo proposto por Janson e Domingue (1988), implementado no software Idrisi Kilimanjaro (Eastman, 2003) que, testado em modelos digitais de elevação com escalas distintas (1:24.000 e 1:250.000), nas comparações entre bacias hidrográficas delimitadas automaticamente com bacias traçadas manualmente das cartas topográficas, revelou concordâncias da ordem de 97 e 98% (Zariello, comunicação pessoal, 1986 e Verdin, comunicação pessoal, 1988, citados por Janson e Domingue (1988)). O algoritmo é desenvolvido nas seguintes fases de extração de informações do modelo digital de elevação:

- 1) **Eliminação de depressões:** retira do modelo feições de abaciamento, que interrompem o fluxo hídrico. Neste processo, pixels com cotas mais baixas, que têm variação de cota maior que o limiar estabelecido em relação a sua vizinhança são identificados e uniformizados para a cota mais baixa da vizinhança, permitindo a continuidade do fluxo. Após a correção, todos os pixels tem uma direção e sentido de drenagem.
- 2) **Direção do Fluxo:** É determinada para cada célula, em operação de vizinhança, numa matriz 3 x 3, a direção e o sentido do fluxo, em ângulos azimutais em graus ou por ID 2 exponencial com relação aos valores de altitude dos pixels vizinhos.
- 3) **Escoamento superficial (RUNOFF):** tem como finalidade indicar a contribuição de cada pixel em relação a recepção de água, considerando o fluxo hídrico. São obtidas, por célula, as taxas de escoamento superficial na direção e sentido do fluxo. Estes valores indicam o sentido e a segmentação da acumulação hídrica por área que, a partir da orientação do fluxo, é delineada a bacia hidrográfica.
- 4) **Rotulação das Bacias Hidrográficas:** Esta etapa é referente aos procedimentos do algoritmo para iniciar o processo de identificação dos limites e rotular cada bacia. A partir de um valor de background (-1), os pontos de início de rotulagem de cada bacia são definidos por um limiar, para comparação do valor de Runoff e Delta.

Após a geração automática foi realizada uma edição vetorial que constituiu em ajustes à rede hidrográfica e a vetorização de áreas não delimitadas, com um pós processamento para correção de imperfeições na delimitação computacional, e para a eliminação de sub-bacias menores do que 400 ha.

### **Parâmetros Ambientais em Bacias Hidrográficas (Morfométricos e de Uso/Cobertura da Terra)**

Foram avaliados os parâmetros considerados mais importantes, usuais e viáveis de extrair, para a escala de trabalho adotada, sendo uma parte do universo de variáveis morfométricas para caracterização de bacias hidrográficas. Uma revisão de variáveis morfométricas pode ser encontrada em Collares (2000).

**Densidade de Drenagem (DD):** Este parâmetro é um dos indicadores da vulnerabilidade do solo. Valores baixos de DD podem estar associados a rochas resistentes, solos muito permeáveis ou relevo suave (Rocha, 1991). A densidade de drenagem é dada pela equação 1:

(equação 1)

Sendo:  $CD$  = comprimento de drenagem, dado por

$$CD(km) = \sum R + \sum C + \sum T \quad (\text{equação 2})$$

Sendo:  $R$ =ravinas;  $C$ =canais; e  $T$ = tributários, em km; e  
 $A$  = área da sub-bacia, em ha.

Para a resolução do modelo digital de elevação SRTM, a detecção da drenagem não é de grande precisão, processando-se a rede em células de 90 x 90 m, e pelo fato de segmentos de drenagem internos à célula não serem detectados. Para a escala de trabalho proposta (1:100.000) é possível uma estimativa razoável. A rede de drenagem obtida desta forma é imprecisa em continuidade para áreas menos declivosas mas, por outro lado, detecta canais e tributários não considerados na digitalização das Cartas de Levantamento Sistemático produzidas pelo DSG, não padronizadas com relação a drenagem restituída nas cartas do IBGE.

Para estimar o comprimento da rede de drenagem foi utilizado o seguinte procedimento: Sendo o pixel do modelo digital de elevação SRTM de 90 x 90 metros, a rede de drenagem extraída na estrutura raster é formada por segmentos contínuos de pixels de 90 x 90 m. Um segmento é um conjunto de direções vertical, horizontal, ou diagonal, em que cada pixel participa com um comprimento de 90 metros (se a direção for vertical ou horizontal), ou com um comprimento de 127,279 metros, se a direção for diagonal. Desta forma estima-se o comprimento de drenagem pela equação 3:

$$CD = n \text{ pixels} * (2 * 90 \text{ m} + 1 * 127,279 \text{ m}) / 3 = n \text{ pixels} * 102,426 \text{ m} \quad (\text{equação 3})$$

Os valores de DD estimados foram comparados com os valores de DD de 13 microbacias da Sub-bacia do Rio Soturno obtidos por Rocha (1991).

**Índice de Circularidade (IC):** parâmetro que mede a proximidade da forma da bacia ao círculo. Quanto mais próxima da forma circular (próximo de 1), maior o perigo de enchentes na bacia. O IC é dado pela equação 4:

$$IC = A/A_c \quad (\text{equação 4})$$

Sendo  $A$  = área da bacia em ha;

$A_c$  = área do círculo de perímetro igual ao da bacia considerada ( $A_c = P^2 / 4\pi$ )

**Declividade Média da Sub-bacia (DECL):** parâmetro que se relaciona com a aptidão agrícola, a erosão e o risco de enchente. Sumarizado por sub-bacia, por meio dos dados de declividade gerados a partir do DEM/SRTM.

**Escoamento Superficial (RUNOFFBH):** parâmetro que indica a contribuição de cada pixel em relação a recepção de água de áreas vizinhas, na direção do fluxo hídrico. O parâmetro indicador da magnitude do Escoamento Superficial para uma sub-bacia é o valor máximo de runoff.

**Cobertura e Uso da Terra em Sub-bacias:** A proporção de cobertura florestal (COBVEG) foi extraída por sub-bacia (Área Fragmentos/Área Bacia) do mapeamento de remanescentes da Mata Atlântica (Fundação SOS Mata Atlântica, 2002), na escala 1:50.000, delineando fragmentos de, no mínimo, 10 ha. A proporção das principais classes do uso da terra por sub-bacias, agricultura (AGRIC), pastagem (PAST) e área urbana (URBAN), foi extraída do mapeamento do Uso e Cobertura da Terra (Fundação...2000).

#### *Análise Multicritério (AMC) para Indicar Vulnerabilidade Ambiental em Sub-bacias*

Uma primeira aproximação da vulnerabilidade ambiental de sub-bacias do Estado do Rio de Janeiro foi calculada por meio da AMC, com agregação de critérios pelo método da combinação linear de pesos (WLC), em que a variável objetivo (S) é o índice de vulnerabilidade ambiental. E os fatores (xi) são ponderados por pesos (wi), conforme seu grau de importância, dado pela equação 5:

$$S = \sum w_i * x_i \quad (\text{equação 5})$$

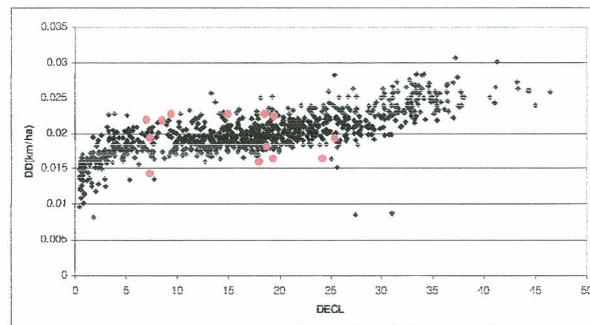
Utilizou-se a AMC para obter um índice de vulnerabilidade que pode ser inferido por um conjunto de fatores que apresentam relações de causa-efeito conforme a aplicação (Mendes, 2001; Fuller, et al., 2002; Costa et al. 2003). Os fatores relacionados com a vulnerabilidade são a densidade de drenagem (DD), o índice de circularidade da bacia (IC), o percentual médio de declividade (DECL), o RUNOFFBH e os parâmetros de uso da terra, percentual de cobertura vegetal (COBVEG), agricultura (AGRIC), pastagem (PAST) e área urbana (URBAN). O RUNOFFBH, mesmo considerando a precipitação uniforme, não é uma variável integralmente relacionada com a Densidade de drenagem e a declividade média, devido a posição de contexto da bacia. Os índices DD e DECL, embora com valores de correlação de Pearson de 0,76, foram consideradas isoladamente pelo fato de existirem outros fatores condicionantes da densidade de drenagem, além da declividade, como a geomorfologia.

A atribuição de diferentes pesos (wi) aos fatores, de acordo com seu grau de importância, é feita com o auxílio da AHP (Analytical Hierarchy Process), permitindo o cálculo dos pesos, conforme os graus de hierarquia entre os mesmos par a par, extraídos de uma escala de 9 pontos (Saaty, 1977).

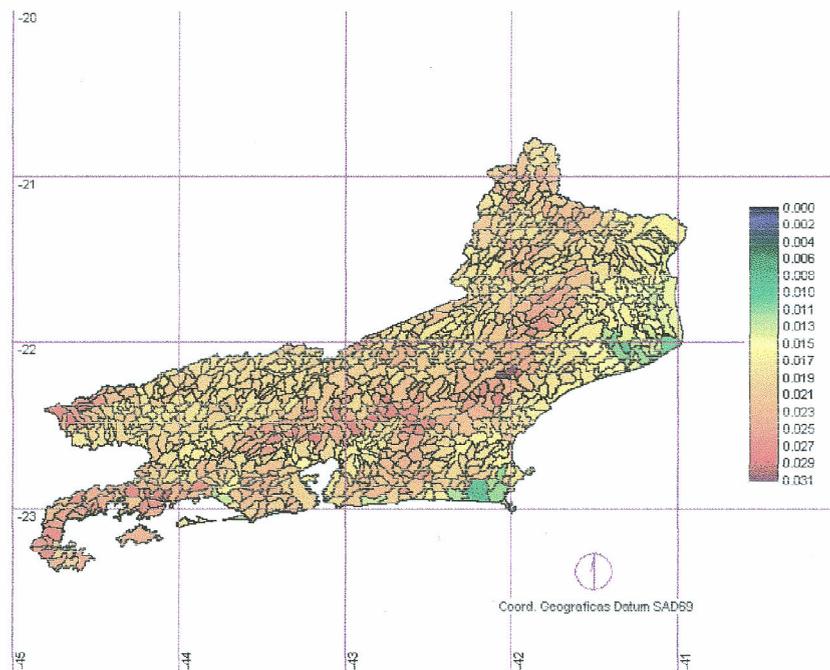
Os fatores foram transformados de acordo com o objetivo, para que os mesmos sejam correlacionados positivamente. Por causa das diferentes escalas em que cada fator é mensurado, estes foram normalizados para uma escala contínua (1byte) que se estende do valor de menor vulnerabilidade (0) para o valor de maior vulnerabilidade (255). A transformação de valores originais para "índices de vulnerabilidade" foi linear.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na figura 1(b) são apresentados os resultados de Densidade de Drenagem (DD) por sub-bacias em km/ha, que foram comparados com os levantamentos detalhados em sub-bacias (Fig. 1a), demonstrando boa aproximação com os valores gerados neste trabalho. Os pontos em vermelho correspondem a DD e DECL levantados para 13 microbacias da Sub-bacia do Rio Soturno (Rocha, 1991).



(a)



(b)

Figura 1. (a) Densidade de Drenagem (DD em km/ha) em função da Declividade média percentual de Sub-bacias Hidrográficas (DECL). Em vermelho, DD e DECL de 13 microbacias da Sub-bacia do Rio Soturno Fonte: Rocha (1991). (b) Densidade de drenagem (km/ha) para as Sub-bacias do Estado do Rio de Janeiro.

No estado do Rio de Janeiro pode-se observar que a densidade de drenagem é considerada alta, entre 0.025 e 0.031km/ha, nas regiões pertencentes às Unidades Morfoesculturais dos Maciços Costeiros e Interiores, das Escarpas Serranas (Serra do Mar - Planalto da Bocaina e Serra dos Órgãos) e (Mantiqueira Meridional - Planalto de Itatiaia) (Fig. 1b).

Apesar destas unidades apresentarem uma grande propensão a processos erosivos, estes não ocorrem de maneira intensa devido à preservação da cobertura vegetal existente nestas unidades, o que pode ser observado na figura 7, porém a expansão urbana (Fig. 9) e aumento de atividades agropastoris (Fig. 8 a,b) contribuem para o aumento da vulnerabilidade a erosão nestas áreas.

Densidades intermediárias ocorrem nas depressões e alinhamentos de cristas do Paraíba do Sul, incluindo compartimentos planálticos do Leste de Minas, no Noroeste Fluminense e nas Colinas e Maciços Costeiros próximo ao litoral (IBGE, 1983).

Regiões com densidades de drenagens baixas podem ser encontradas na parte litorânea a leste do Estado, constituída das Unidades Morfoesculturais das Superfícies Aplainadas nas Baixadas Litorâneas, Planícies Costeiras e Tabuleiros de Bacias Sedimentares.

As Superfícies Aplainadas nas Baixadas Litorâneas apresentam relevos suaves e uniformes, com colinas amplas, baixas e niveladas. Os Tabuleiros de Bacias Sedimentares apresentam colinas tabulares de topo plano, de amplitude de relevo muito baixa. As Planícies Costeiras compreendem um relevo muito suave, predominantemente arenoso. Em todas estas unidades ocorre a predominância de terrenos sedimentares, onde raramente aflora o substrato rochoso, isto faz com que a transmissibilidade do terreno seja alta, diminuindo assim a densidade de drenagem nestas regiões (IBGE, 1983). Estas unidades apresentam um baixo potencial de vulnerabilidade aos processos erosivos e movimentos de massa.

Para o índice de circularidade, apresentado na Figura 2, não se observou uma associação entre o formato da bacia e a geomorfologia, com a distribuição de bacias tendendo para o formato circular em quase todas as formações no Estado do Rio de Janeiro, com exceção do norte fluminense, com depósitos sedimentares (planícies e tabuleiros), onde predomina a forma alongada de bacias hidrográficas.

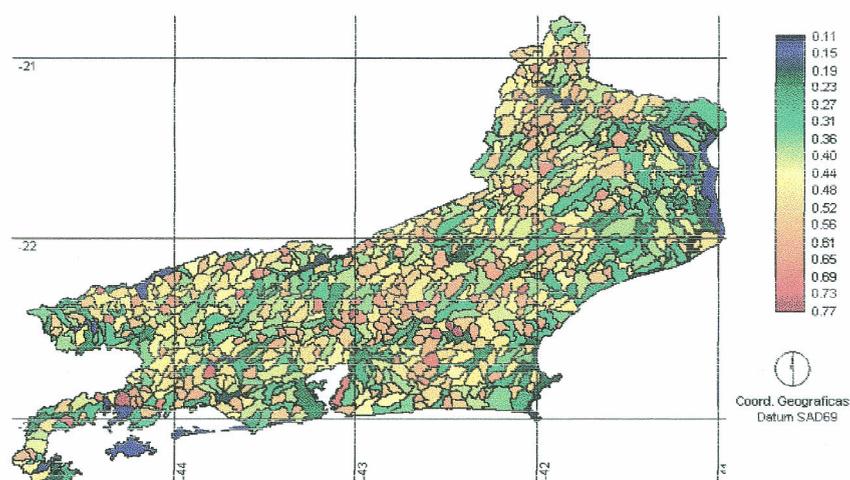


Figura 2. Índice de Circularidade (0-1) para as Sub-bacias do Estado do Rio de Janeiro.

A declividade média (%) por sub-bacia é apresentada na figura 3. As sub-bacias com menor declividade encontram-se na faixa de elevação entre 0 e 50 m (Fig. 4), onde ocorrem as maiores intensidades de ocupação urbana e atividades agrícolas (Figuras 8 e 9).

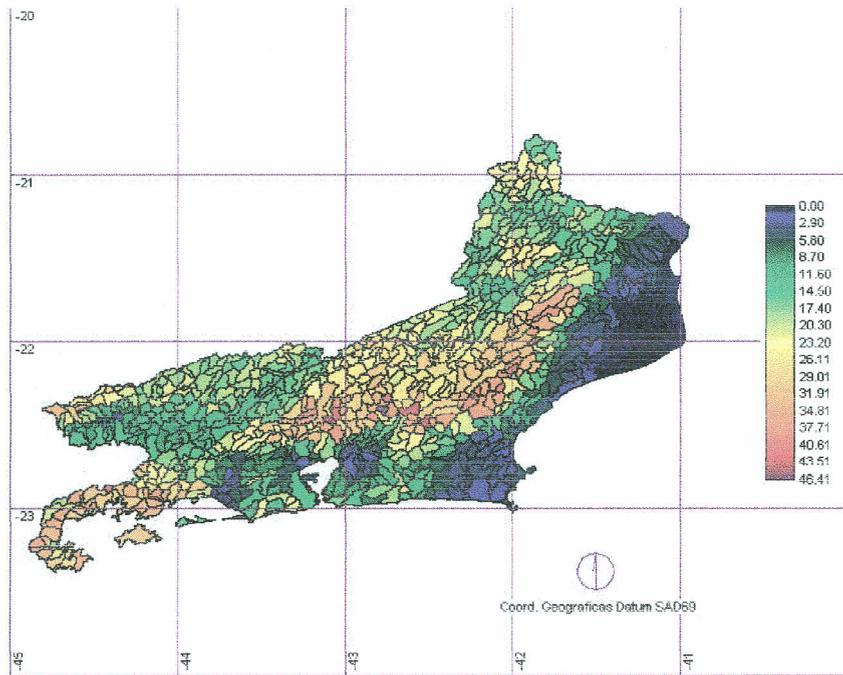


Figura 3. Declividade média em porcentagem para as Sub-bacias do Estado do Rio de Janeiro.

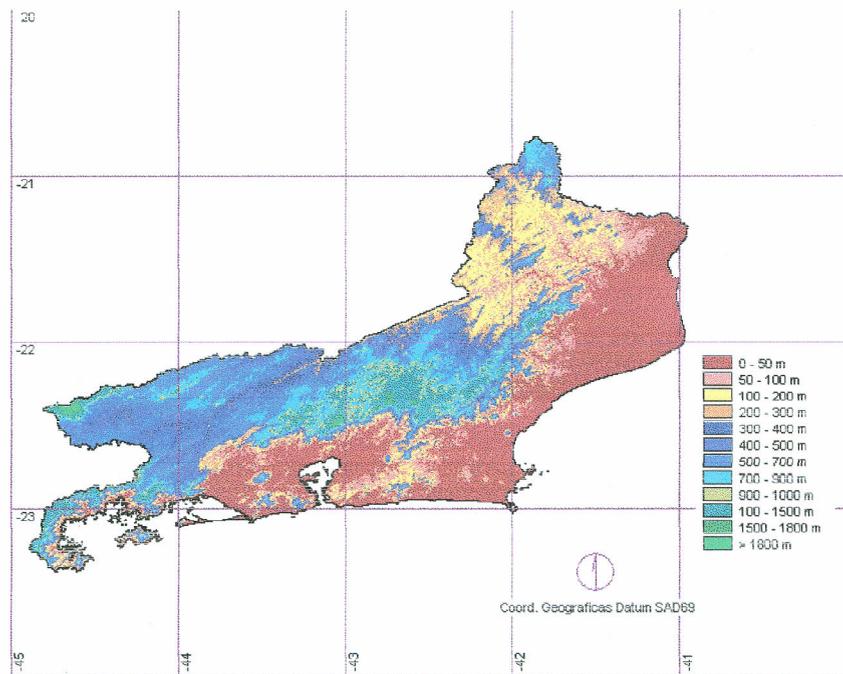


Figura 4. Classes de Altitude do DEM SRTM para o Estado do Rio de Janeiro.

Na figura 5 o runoff foi categorizado em 16 classes, o que permite visualizar baixos valores, e na figura 6 são apresentados exemplos de alta magnitude de runoff comparados com a composição colorida Landsat 5 (NASA, 2005).

No Norte Fluminense ocorre a maior magnitude de runoff com escoamento em direção à Lagoa Feia e para o oceano na Bacia de Campos. Nesta mesma região se visualiza na imagem de satélite uma concentração de sedimentos na faixa litorânea, relacionada talvez com processos de regressão marinha, influência de correntes, e também com o potencial de escoamento hídrico do continente (Fig. 6).

Outro runoff com alta magnitude ocorre nos cordões arenosos, no Delta do Paraíba do Sul. Valores de runoff moderados podem ser observados, com saída para o manguezal de Guapimirim, ainda preservado, que serve como um dissipador de energia, depositando sedimentos antes de atingir a Baía de Guanabara. Outra região é a da Baía de Sepetiba, onde se observa também alguma suspensão de sedimentos. Outras áreas de maior magnitude de runoff estão com baixa cobertura vegetal, como o Noroeste Fluminense e a Bacia do Paraíba do Sul, onde ocorrem altos valores, como na região de Tres Rios.

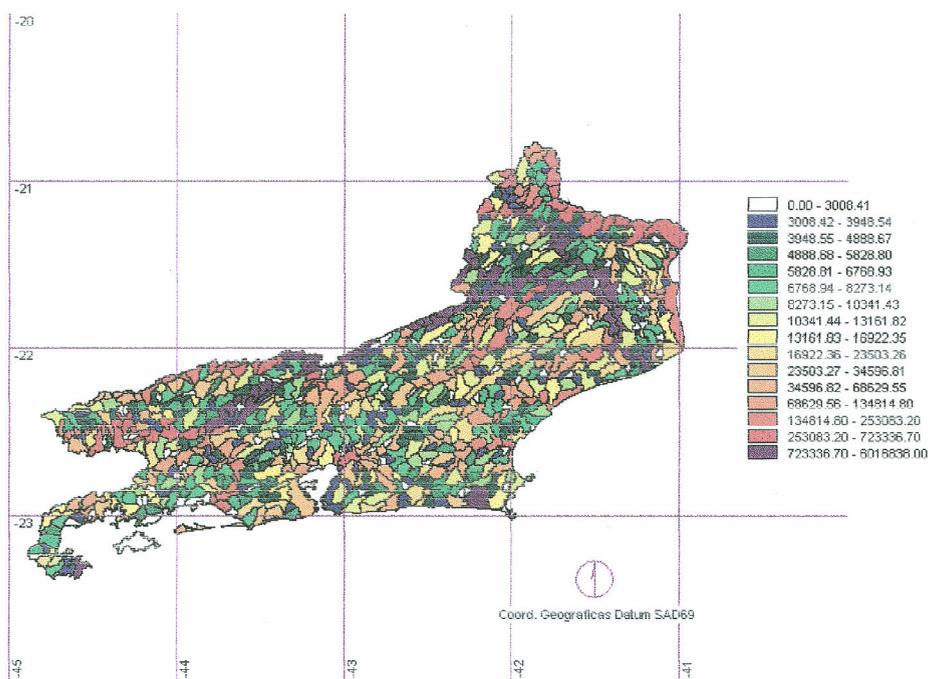


Figura 5. Runoff para as Sub-bacias do Estado do Rio de Janeiro (1mm/ 90x90m).

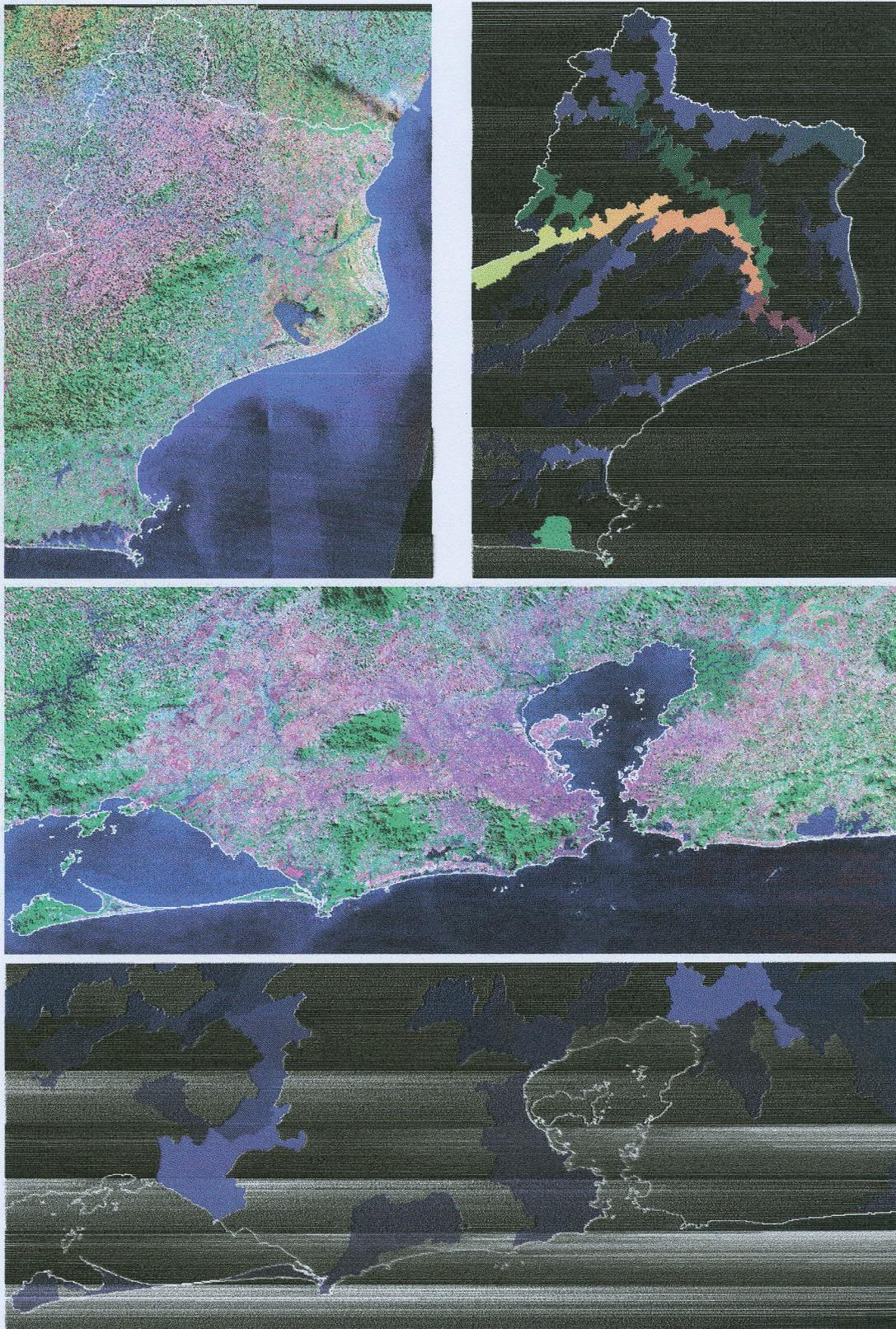


Figura 6. Runoff com a respectiva Composição colorida RGB 543 Landsat 5 (1990) Fonte: Zulu Nasa

Outro fator importante na vulnerabilidade de bacias hidrográficas é a ausência da cobertura vegetal, principalmente em áreas críticas, como as de preservação permanente, definidas pelo Código Florestal Lei 4.771 de 1965, no Artigo 2. Na figura 7 é apresentado o percentual de fragmentos nas bacias hidrográficas. As bacias com até 19.99% de cobertura vegetal (em branco), podem ser consideradas críticas, prioritárias em programas de reflorestamento e adequação à Legislação, enquanto as classes acima de 20% podem atender ao computo de reserva legal exigido pelo Código Florestal na região sudeste (não consideradas as áreas de preservação permanente).

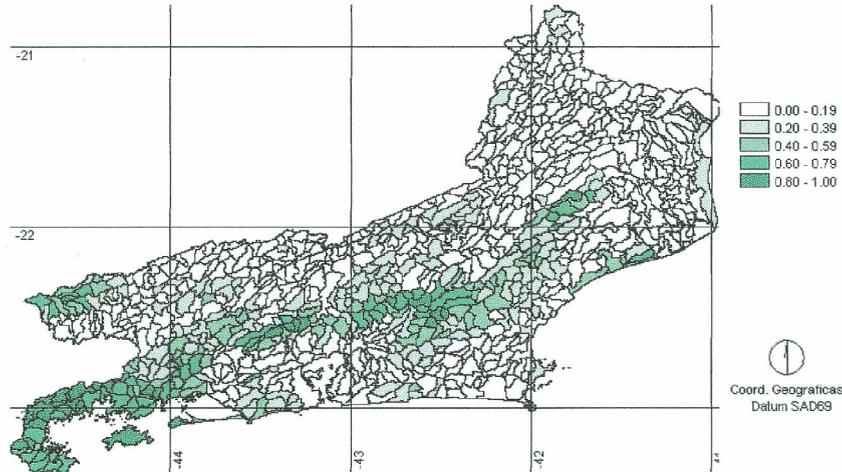


Figura 7. Proporção de áreas com remanescentes florestais (COBVEG) extraídas do Mapeamento da Cobertura da Terra (SOS Mata Atlântica, 2000) para as Sub-bacias do Estado do Rio de Janeiro.

A agricultura é um dos principais fatores de degradação, devido a exposição do solo e seu manejo, que expõe o solo à erosão hídrica, afeta a estrutura e reduz a matéria orgânica. As áreas com ocorrência de agricultura (Figura 8) distribuem-se na região norte fluminense, com o predomínio da lavoura de cana de açúcar, em Cachoeira de Macacu, com olericultura, milho, etc., na região Serrana, também com olericulturas, na região de Silva Jardim, Casimiro de Abreu e em Mangaratiba.

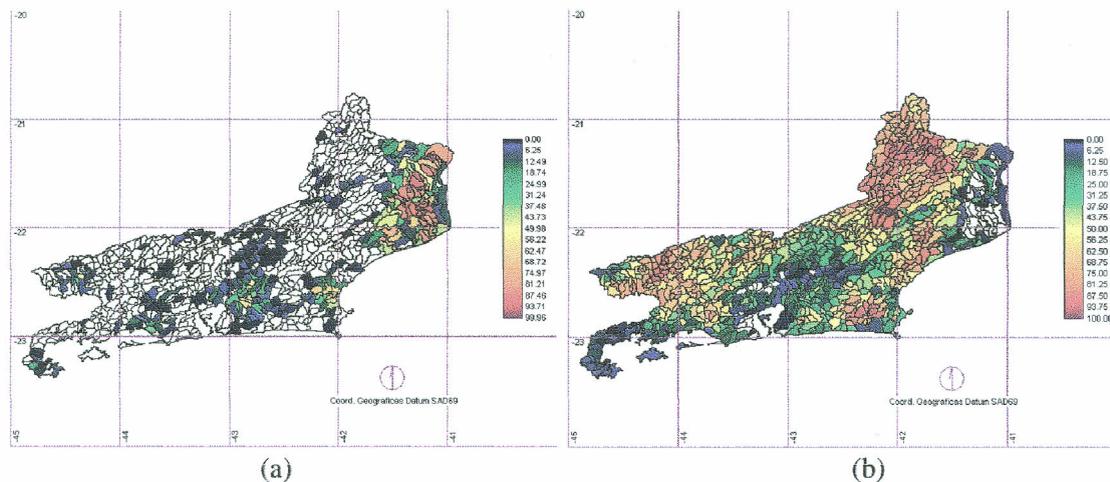


Figura 8. (a) Proporção de áreas com agricultura extraídas do Mapeamento do Uso e Cobertura da Terra (Fundação...2000) para as Sub-bacias do Estado do Rio de Janeiro e (b) Proporção de áreas com pastagens (PAST) extraídas do Mapeamento do Uso e Cobertura da Terra (Fundação...2000) para as Sub-bacias do Estado do Rio de Janeiro.

As áreas com pastagens, relativamente menos impactantes do que áreas agrícolas, também constituem um fator de vulnerabilidade, pois em manejos inadequados e em áreas inaptas, são causa de compactação e perda da fertilidade do solo, resultando em processos erosivos, como ravinamentos, erosão laminar e até voçorocamentos. As áreas com pastagens (Fig. 8b) distribuem-se por todo o estado do Rio de Janeiro, com exceção de uma área onde o domínio é da agricultura, no Município de Campos. Sua maior concentração é a região noroeste fluminense, região dos lagos e o vale do Paraíba do Sul.

As áreas urbanas tem impactos potenciais em bacias hidrográficas, exigindo ações corretivas pontuais, com uma gestão ambiental distinta do escopo rural. A impermeabilização do solo (aumentando o risco de enchentes), a ocupação em áreas com risco de deslizamento e a disposição de resíduos urbanos e industriais são alguns dos problemas relacionados com a vulnerabilidade em bacias hidrográficas urbanas. As bacias com ocorrência de áreas urbanas (Fig. 9) correspondem a região metropolitana do Rio de Janeiro, região dos Lagos e de Angra, Bacia de Campos, região Serrana, Vale do Paraíba, e demais núcleos urbanos espalhados pelo Estado.

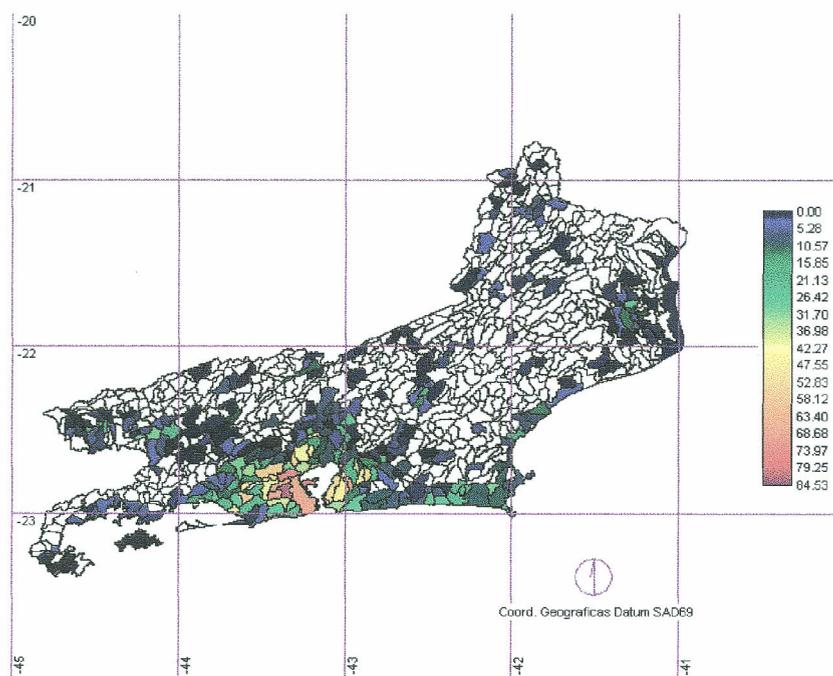


Figura 9. Proporção de áreas urbanas (URBAN) extraídas do Mapeamento do Uso e Cobertura da Terra (Fundação...2000) para as Sub-bacias do Estado do Rio de Janeiro.

#### ***Análise Multicritério (AMC) para Indicar Vulnerabilidade Ambiental em Sub-bacias***

Os indicadores Densidade de Drenagem (DD), Índice de Circularidade (IC), Declividade Percentual Média (DECL), Escoamento Superficial Máximo (RUNOFFBH), Percentuais de Cobertura Vegetal (COBVEG), Áreas Agrícolas (AGRIC), Áreas com Pastagens (PAST) e Áreas Urbanas (URBAN), foram hierarquizados de acordo com o grau de importância de vulnerabilidade ambiental (Tab. 1). O IC e PAST foram considerados os fatores de menor importância, e DD, DECL, RUNOFFBH, AGRIC URBAN e COBVEG foram considerados de maior importância. Seus pesos finais foram atribuídos pela técnica AHP (Analytical Hierarchy Process), que calcula

pesos para cada fator, conforme os graus de hierarquia entre os mesmos par a par, extraídos de uma escala de 9 pontos (Saaty, 1977). A AHP gera também um índice de consistência (Eastman, 2003). Caso não seja atendido o limiar mínimo de consistência, a hierarquização precisa ser refeita. Os respectivos pesos são apresentados na Tabela 2.

Tabela 1. Hierarquia de importância entre os fatores relacionados com a vulnerabilidade ambiental de sub-bacias hidrográficas.

	DD	IC	DECL	RUNOFF BH	COBVEG	AGRIC	PAST	URBAN
DD	1							
IC	1/3	1						
DECL	1	3	1					
RUNOFFBH	1	3	1	1				
COBVEG	1	3	1	1	1			
AGRIC	1	3	1	1	1	1		
PAST	1/3	1	1/3	1/3	1/3	1/3	1	
URBAN	1	3	1	1	1	1	3	1

A transformação linear dos fatores para 256 níveis segue a relação de pertinência de cada fator, sendo a proporção de cobertura vegetal o único fator com relação inversa à vulnerabilidade ambiental (Tabela 2).

Tabela 2. Pesos e relações de pertinência para os Fatores utilizados na integração temática para Vulnerabilidade Ambiental de MBH, resultantes da Técnica AHP (Razão de Consistência = 0.01).

Nível	Fator	Peso Final	Relação de Pertinência
1	<b>Vulnerabilidade Ambiental</b>		
2	DD	0.15	+
2	IC	0.05	+
2	DECL	0.15	+
2	RUNOFF	0.15	+
2	COBVEG	0.15	-
2	AGRIC	0.15	+
2	PAST	0.05	+
2	URBAN	0.15	+

O resultado da Análise Multicritério com os pesos estabelecidos na Tabela 2 é apresentado na figura 10. As bacias mais vulneráveis concentram-se na região noroeste e norte do Estado, sendo que as que apresentaram maior grau de vulnerabilidade acompanham o Rio Paraíba do Sul da região central do Estado até sua foz, sendo considerada, portanto, uma indicação de áreas para programas de recuperação ambiental.

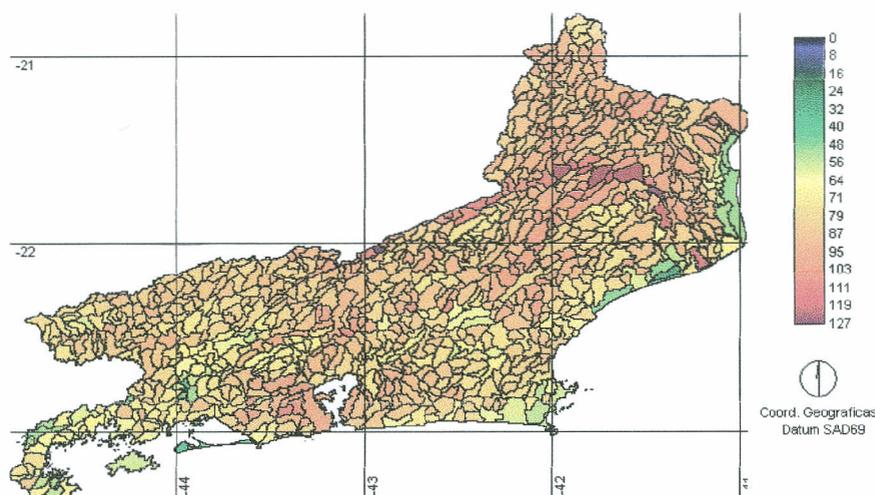


Figura 10. Índice de Vulnerabilidade Ambiental para Sub-bacias do Estado do Rio de Janeiro.

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos são objeto de uso/validação para potenciais usuários da informação e espera-se que possam subsidiar/orientar ações de conservação no Estado do Rio de Janeiro, com uma abordagem por sub-bacias hidrográficas, onde se propôs avaliar a vulnerabilidade destes compartimentos naturais, que serão integrados a outros componentes relacionados ao conflito Conservação x Uso da Terra. Com estas e outras análises o propósito é a orientação para estratégias e ações para recuperação/conservação da Floresta Atlântica considerando fatores ambientais e sócio econômicos, que interferem no uso da terra.

### AGRADECIMENTOS

Este trabalho é parte das atividades da Embrapa no Projeto “Estratégias e Ações para Conservação da Mata Atlântica do Estado do Rio de Janeiro”, Agradecemos Aos parceiros e colaboradores, Fundação CIDE, Instituto Bioatlântica, SOS Mata Atlântica, Instituto Biomas, IBGE e SERLA pelo fornecimento de dados e ao Critical Ecosystem Partership Fund (CEPF), Conservação Internacional (CI) e Rede para Conservação da Mata Atlântica, pelos recursos para o desenvolvimento deste trabalho.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

COLLARES, E. G. *Avaliação de alterações em redes de drenagem de sub-bacias como subsídio ao zoneamento geoambiental de bacias hidrográficas: Aplicação na bacia hidrográfica do Rio Capivari-SP*. Campinas: São Carlos, 2000. 211p. (Tese de Doutorado).

- COSTA, T. C. C.; SOUZA NETO, N. C.; OLIVEIRA, M. A. J.; ACCIOLY, L. J. O. Estimativa da diversidade florística da caatinga por meio da análise multicritério. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., 5-10 abr. 2003, Belo Horizonte. [Anais...] Belo Horizonte: INPE, 2003. P. 2689-2696. (CD-ROM).
- COSTA, T.C.C.; SANTOS, P. R. A.; GUIMARÃES, S.P. Extração de variáveis topográficas do modelo digital de elevação SRTM para o Estado do Rio de Janeiro. Embrapa Solos. *Documento n. Xxx* 2005 (no prelo).
- Eastman, J. R. *IDRISI Source Code 1987-2003*. Worcester: Clark University, 1987-2003. 1 v.
- EASTMAN, J. R.; JIN, W.; KYEM, P. A. K.; TOLEDANO, J. Raster procedures for multi-criteria, multi-objective decisions. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Bethesda, v. 61, n. 5, p. 539-547, 1995.
- FULLER, D.; JEFFE, M.; WILLIAMSON, R. A.; JAMES, D. Satellite remote sensing and transportation lifelines: safety and risk analysis along rural Southwest roads. In: ISPRS COMMISSION I SYMPOSIUM 2002, Denver.; MID-TERM SYMPOSIUM AIN CONJUNCTION WITH PECORA 15 Land Satellite Information, 4.,10 -15 nov. 2002. Integrated Remote Sensing at the Global, Regional and Local Scale. Denver, CO: ISPRS, 2002. Disponível em:  
[Http://www.isprs.org/commission1/proceedings/paper/00089.pdf](http://www.isprs.org/commission1/proceedings/paper/00089.pdf). Acesso em: 06 maio 2005.
- Fundação SOS Mata Atlântica e Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (2002) Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica: período 1995-2000. *Relatório Final*.
- GALVÃO W.S.; MENESES P.R.; Avaliação do Sistema de Classificação e Codificação das Bacias Hidrográficas Brasileiras para Fins de Planejamento de Redes Hidrométricas. *Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 2511-2518.
- FUNDAÇÃO CENTRO DE INFORMAÇÕES E DADOS DO RIO DE JANEIRO (CIDE). *Índice de qualidade dos municípios - verde (IQM - Verde)*. Rio de Janeiro: CIDE, 2000. CD-ROM.
- HORA A.; TEUBER W. *Bacias Hidrográficas e Rios Fluminenses*. Projeto PLANÁGUA SEMADS / GTZ de Cooperação Técnica Brasil – Alemanha. Maio, 2001
- IBGE. Censo agropecuário – Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 1996. 1 v. (Recenseamento geral do Brasil-1995. Série regional)
- IBGE. Folhas SF 23/24 Rio de Janeiro / Vitória: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1983. 775 p. (Levantamento de Recursos Naturais, v. 32).
- JANSON, S.; DOMINGUE, J., 1988. Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 54:11, 1593-1600.
- MEIRELLES M.S.P.; BUENO M.C.D.; DIAS T.C.S.; COUTINHO H.L.C.; Sistema de Suporte a Decisão para Avaliação do Risco de Impactos Ambientais em Bacias Hidrográficas por Rede de Dependência e Lógica Fuzzy. *Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 2259-2266.
- MENDES, J. F. G.; MOTIZUKI, W. S. Urban quality of life evaluation scenarios: the case of São Carlos in Brazil. *CTBUH Review*, University of Illinois at Urbana-Champaign, v. 1, n.2, p.13-23, 2001.
- MILANI, J. R.; CANALI, N. E. O sistema hidrográfico do rio Matinhos: uma análise morfométrica. *R. RA'EGA*, Curitiba, UFPR, n. 4, p. 139-152. 2000.
- NASA homepage <https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/mrsid.pl> Acesso em 01 de março de 2005.
- RIBEIRO, J. C.; SALOMÃO, F. X. T. Abordagem morfopedológica aplicada ao diagnóstico e prevenção de processos erosivos na bacia hidrográfica do alto rio da casca, MT São Paulo, UNESP, *Geociências*, v. 22, n. 1, p. 83-95, 2003.
- ROCHA, J. S. M. *Manual de manejo integrado de bacias hidrográficas*. Santa Maria: UFSM, 1991. 181p.
- SAATY, T. L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*, New York, v.15, p. 59-62, 1977.

---

TEIXEIRA A.J.A; CRUZ C.B.M.;Classificação de Bacias de Drenagem com o Suporte do Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento- o Caso da Baía de Guanabara. ;*Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 2779-2786.