

Erodibilidade das bacias hidrográficas do Maciço da Pedra Branca - RJ

*Claudia Arcanjo Otaviano**

*Ilza Solis Lima***

*Vivian Castilho da Costa****

RESUMO

As regiões montanhosas tropicais, a exemplo dos maciços litorâneos da cidade do Rio de Janeiro, vêm sofrendo, nas últimas décadas, movimentos de massa e processos erosivos intensos desencadeados por chuvas de verão, gerando graves consequências sócio-ambientais.

O maciço da Pedra Branca, a mais importante feição geomorfológica do município, apresenta suas encostas com forte potencial erosivo. Tal potencial foi identificado, pela presente investigação, através de análise morfológica e morfométrica de suas bacias hidrográficas associada ao estudo de seu quadro lito-estrutural dominante.

Metodologicamente, fez-se a delimitação das bacias de drenagem de 1ª a 4ª ordem do maciço da Pedra Branca, incluindo o trabalho de hierarquização dos canais de

acordo com o método de Strahler (1957).

Em seguida, foram calculados os principais valores morfométricos (H_d , D_d , E_p , ...) das bacias agrupadas conforme sua hierarquia.

A aplicação do programa estatístico denominado Cluster Analysis, resultou no agrupamento das micro bacias, por similaridade, levando em consideração somente o critério de classificação pela distância taxonômica.

Por fim, definimos uma matriz que expressou espacialmente as micro bacias analisadas. Os resultados foram interpretados à luz dos conhecimentos geológicos-geomorfológicos da região estudada.

PALAVRAS-CHAVE:

Análises Morfológicas e Morfométricas, Bacias de Drenagem, Erodibilidade, Geomorfologia.

INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

As regiões montanhosas tropicais, a exemplo dos maciços litorâneos da cidade do Rio de Janeiro vêm sofrendo, nas últimas décadas, movimentos de massa e processos erosivos intensos desencadeados por chuvas de verão, gerando graves consequências sócio-ambientais.

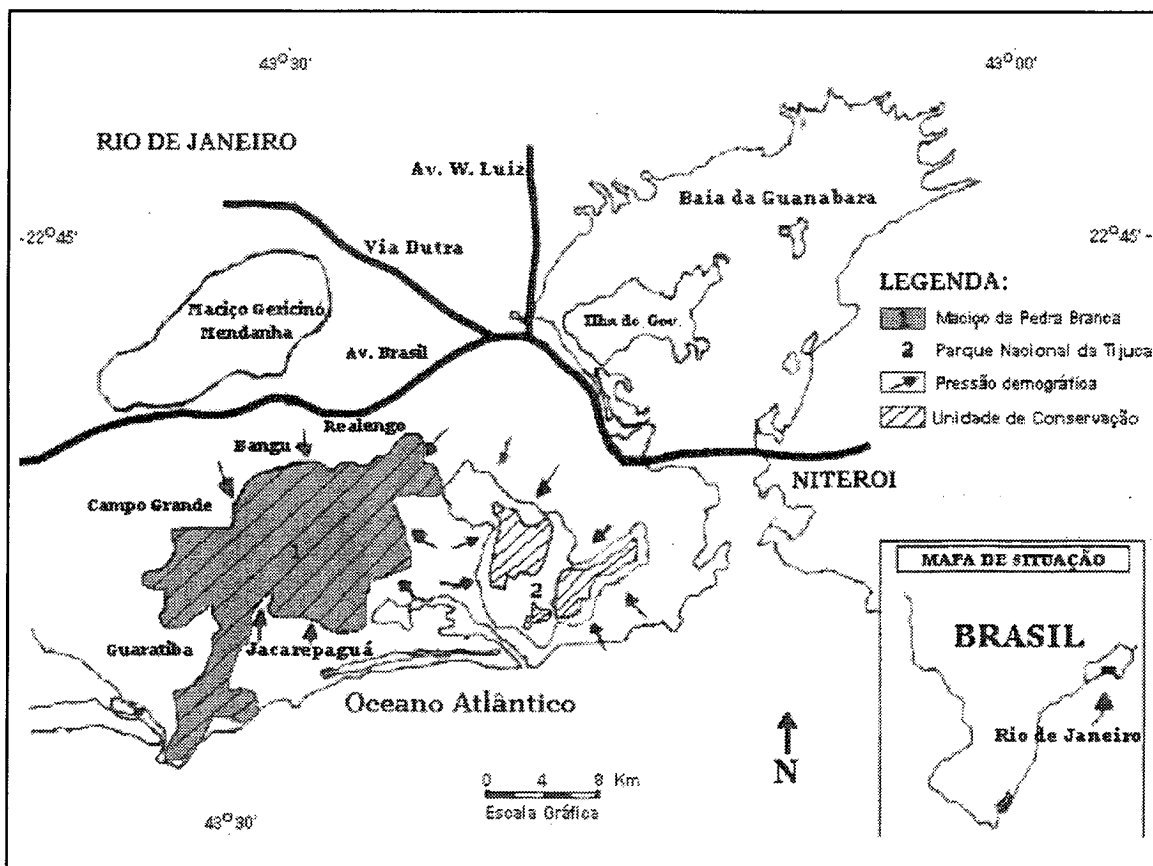
Os aspectos morfológicos e morfométricos de bacias hidrográficas refletem as interrelações mais significativas entre os principais fatores responsáveis pela evolução do relevo, em particular a litologia, estrutura geológica, e a própria dinâmica geomorfológica, principalmente quanto ao desencadeamento de processos erosivos.

Vinculada ao Projeto "Análise Geo-Ambienta Comparativa das Bacias Hidrográficas do

Maciço da Pedra Branca - RJ", sob a coordenação da Prof.^a Nadja Maria Castilho da Costa, a presente investigação tem como objetivo a análise do comportamento físico das bacias hidrográficas da área compreendida pelo maciço da Pedra Branca, localizado na parte cen-

tral do município do Rio de Janeiro (figura 1), visando a dar subsídios à caracterização morfológica e, assim, servir de importante instrumento à definição das áreas potenciais quanto à ocorrência de processos erosivos e movimentos de massa.

FIGURA 1 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO



FONTE: GRUPO DE ESTUDOS AMBIENTAIS (GEA/UERJ)

CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA E GEOMORFOLÓGICA DA ÁREA DE ESTUDO

O maciço da Pedra Branca está localizado na porção central do município do Rio de Janeiro, entre as latitudes de 23° 52' e 23° S e 43° 23' e 43° 32' O, estando próximo ao maciço da Tijuca e tendo a baixada de Jacarepaguá como unidade fisiográfica de separação entre ambos. Se dife-

rencia deste, em quase todos os aspectos, tanto pela natureza física, quanto pelo uso e ocupação do solo e características sócio-econômicas.

Os aspectos físicos (geológico-geomorfológicos) fornecem importantes informações a respeito da origem, formação e transformações ocorridas na paisagem, que nada mais é do que um reflexo do quadro lito-estrutural dominante. O maciço da Pedra Branca é marcado pela presen-

ça de rochas graníticas pertencentes ao Batólito da Pedra Branca (Porto Jr., 1993) e de um sistema de lineamentos e fraturamentos, predominantemente N 50-60 E, determinantes na configuração morfológica de suas encostas e vales (Costa, 1986). Segundo Penha (1984), apenas a porção mais oriental do maciço é formada por gnaisses e migmatitos, enquanto que o restante apresenta-se como um corpo ígneo de composição granodiorítica/tonalítica.

Em termos morfológicos, caracteriza-se por um relevo moderadamente escarpado de encostas convexas a retilíneas, principalmente em sua vertente norte. A grande maioria de seus vales fluviais são em forma de "V", típicos de calhas fluviais esculpidas em áreas montanhosas, apresentando vertentes simétricas. Isto pode ser verificado nos vales do rio Grande (vertente leste), voltada para o bairro de Jacarepaguá e do rio Piraguara (vertente norte), indicando uma relação de equilíbrio entre o entalhamento e o alargamento do vale devido às condições litológicas da região. Torna-se importante ressaltar que, no caso específico dos vales do rio Grande (se apresentam assimétricos no médio curso do rio principal, em zona de contato Granito/Gnaiss), do rio Portinho e do rio Vargem Grande, (Costa, 1986), são mais suscetíveis ao intemperismo e erosão por serem constituídos de rochas básicas.

Do ponto de vista estrutural, o controle exercido pelo fraturamento típico dos corpos ígneos e os lineamentos que atravessam o maciço, respondem pelos vales de falhas e fraturas frequentes nessa região. Os rios Camorim e Grande (vertente leste) são exemplos disso.

Comparativamente ao maciço da Tijuca, apresenta-se menos entalhado, com vertentes menos escarpadas e feições mais suaves, apesar de sua altimetria atingir a cota de 1.025 m, tendo como ponto culminante do município o Pico da Pedra Branca (Costa, 1986). De sua porção mais central partem inúmeras serras e vales em diversas direções, destacando-se: serra de Guaratiba, que se estende aproximadamente por 18 km até che-

gar à Barra de Guaratiba, onde se encontram os morros dos Caboclos (398 m), Toca Grande (557 m) e o pico do Morgado (398 m); serra do Quilombo, na qual está inserido o morro do próprio nome (689 m) e o morro de Santa Bárbara (857 m); serra do Nogueira na porção SE; serra do Barata e a serra de Bangu, no extremo norte do maciço (Costa, 1986). Nesta última serra, as características geomorfológicas (vertentes íngremes e vales profundos, encostas de sulcos abundantes, intercaladas por cristas bem definidas) favorecem a ação erosiva, especialmente por apresentar terrenos desmatados por sucessivas queimadas, implementadas por uma ocupação urbana crescente.

Essa franca expansão da ocupação (ilegal, em sua grande maioria) sobre as vertentes norte e a leste cria um processo de instabilização do material elúvio/coluvial que, em condições de forte precipitação, desencadeia movimentos de massa do tipo queda de blocos. A ocupação desordenada – onde alguns moradores têm construído suas casas ³ ao longo de linhas de drenagem ou na meia encosta, fazendo cortes verticais – altera significativamente a geometria das encostas e a resistência do solo, lançando o aterro de maneira incorreta sobre a superfície do terreno (Costa, 1997).

O maciço da Pedra Branca possui uma importante rede hidrográfica, já que parte dela contribui para o abastecimento de água da região circunvizinha, destacando-se as represas do Pau da Fome, do Camorim, das Tachas e do Engenho Novo. Sylvio Fróes Abreu (apud IBGE, 1957) já destacava a importância do referido maciço para a captação de água no município do Rio de Janeiro, na época, Distrito Federal. São rios que deságuam na Baía de Guanabara ou diretamente no Oceano Atlântico, passando pelas baixadas litorâneas.

As divisões da rede hidrográfica apresentam-se de acordo com as diferentes serras que compõem o maciço. A serra do Quilombo divide as bacias do Rio Camorim (que deságua na Lagoa de Jacarepaguá); dos rios Grande e Engenho

Novo (que deságuam na baixada de Jacarepaguá); Paineiras, Morto e Taxas (desaguando na baixada de Guaratiba). A serra do Barata serve como divisor das bacias dos rios Piraquara e Pequeno.

O padrão de drenagem dominante de todas as bacias é do tipo radial centrífugo (Costa, 1986). Apresentam cursos d'água que se irradiam de uma área central mais elevada em direção às planícies litorânea e interiorana. Entretanto, internamente à área do maciço, outros padrões de drenagem aparecem embutidos, respondendo a um ajuste geológico da região como, por exemplo, o padrão dendrítico (típico de áreas graníticas) com algumas variações (Costa, 1986).

Em termos hidrológicos, os rios que drenam o maciço da Pedra Branca são, em sua grande maioria, permanentes e apresentam regime torrencial de escoamento na estação de verão, quando a vazão aumenta consideravelmente em decorrência da elevada pluviosidade. Seu contato brusco com a baixada gera condições favoráveis a ocorrência de inundações.

METODOLOGIA

De modo a atingir o objetivo citado, foi realizada uma série de procedimentos metodológicos. Inicialmente fez-se a delimitação de todas as bacias hidrográficas de 1ª a 4ª ordem, envolvendo um trabalho de hierarquização dos canais de acordo com o método de Strahler (1957)¹. Porém, tornou-se necessário fazer um trabalho prévio de atualização da drenagem, baseada em mapas temáticos e fotografias aéreas recentes (IPLANRIO, 1992 e AEROFOTO/CRUZEIRO, 1996)², onde foram constatados que muitos dos cursos temporários são, na realidade, perenes. Com relação aos primeiros (temporários), procurou-se restituir os canais de 1ª ordem, considerando todas as incisões de calhas com comprimento superiores a 200 m, desde que estivessem evidentes declives da encosta em posições convergentes a elas.

Optou-se por utilizar, como suporte à caracterização morfométrica, o apoio de um Sistema

Geográfico de Informações (SGI) denominado Sistema de Análise Geo-Ambiental 3/4 SAGA³ que assim permitiu, com maior rapidez e confiabilidade, o cálculo da área e do perímetro das bacias hidrográficas em estudo. Foram confeccionadas (digitalizadas e vetorizadas no SAGA) e calculadas as morfometrias de 30 bacias hidrográficas localizadas na vertente leste, 30 na vertente oeste e 11 na vertente norte, perfazendo um total de 71 bacias hidrográficas presentes em todo o maciço da Pedra Branca.

Por considerar que a declividade média por si só, muitas vezes, não é suficiente para relacionar proporcionalmente relevo e erosão (especialmente entre bacias com o mesmo valor para declividade média), é recomendada a adoção de outros parâmetros morfométricos. Através deles, pode-se distinguir as diversas formas de relevo de cada setor ou micro-bacia e avaliar, com maior precisão, as diferentes potencialidades quanto à ocorrência de processos erosivos, dando subsídios à avaliação de seu comportamento hidrológico.

Os cálculos dos principais parâmetros morfométricos foram realizados segundo metodologia proposta por Christofletti (1974) para todas as bacias delimitadas.

Convém ressaltar, mais uma vez, que os índices morfológicos e morfométricos a seguir citados se fazem muito importantes no estudo de bacias hidrográficas, pois, através de uma abordagem quantitativa, pode-se inferir o seu comportamento em termos da dinâmica dos fluxos superficiais e subsuperficiais.

ANÁLISE AREAL DE REDE HIDROGRÁFICA:

Engloba vários índices e medições planimétricas. Foi feita a análise areal dos seguintes parâmetros: área total da bacia (*A*) em Km², número de segmentos de canais, densidade de drenagem (*Dd*) em Km², densidade hidrográfica (*Dh*) em Km², coeficiente de manutenção (*Cm*) e índice de circularidade (*Ic*) em Km².

- *Comprimento dos canais* – medida do comprimento do canal principal e seus tributários

os (hierarquizados) realizado com o auxílio do aparelho chamado curvímetro.

- *Perímetro da Bacia* – medida do perímetro da bacia em Km, tomada com o auxílio do SAGA.
- *Área Total da Bacia (A)* – é a área total drenada pelo conjunto do Sistema Fluvial projetada em plano horizontal, também realizada com o auxílio do SAGA.
- *Densidade hidrográfica (Dh)* – relação existente entre o número de rios e a área da bacia. Sua finalidade é comparar a frequência ou a quantidade de cursos de água existentes em uma área de tamanho padrão como, por exemplo, o Km². Esse índice foi primeiramente definido por Horton (1945), sendo calculado pela fórmula: $Dh = N/A$, onde Dh é a densidade hidrográfica, N é o número total de rios e A é a área da bacia considerada.

O cálculo da densidade hidrográfica é importante porque representa o comportamento hidrográfico de determinada área em um de seus aspectos fundamentais: a capacidade de gerar novos cursos d'água.

- *Densidade de drenagem (Dd)* – Correlaciona o comprimento total dos rios de escoamento com a área da bacia hidrográfica. A densidade foi inicialmente definida por HORTON (1945), podendo ser calculada pela equação: $Dd = Ct/A$, na qual Dd significa a densidade de drenagem, expressa em metros; Ct é o comprimento total dos canais e A é a área da bacia. Esse cálculo é importante na análise das bacias hidrográficas porque apresenta relação inversa com o comprimento dos rios. À medida que aumenta o valor numérico da densidade há diminuição quase proporcional do tamanho dos componentes fluviais das bacias de drenagem.
- *Coeficiente de Manutenção (Cm)* – Proposto por S. A. Schumm, em 1956, esse índice tem a finalidade de fornecer a área mínima necessária para a manutenção de um metro de canal de escoamento. O referido autor considerava-o como um dos valores numéricos mais

importantes para a caracterização do sistema de drenagem, podendo ser calculado através da seguinte expressão, a fim de que seja significativa na escala métrica: $Cm = 1 / Dd \times 1.000$, onde, tomando como exemplo o Km², ela representaria a área dessa unidade (um milhão de metros quadrados) dividida pela densidade da drenagem.

- *Índice de circularidade (Ic)* – a fim de eliminar a subjetividade na caracterização da forma da bacia, é calculado o Índice de circularidade (Ic) proposto por Miller (1953). O índice é a relação existente entre a área da bacia (A) e a área do círculo de mesmo perímetro (Ac); cuja fórmula empregada é: $Ic = A / Ac$

O valor máximo a ser obtido é igual a 1,0 (um), e quanto maior o valor, mais próxima da forma circular estará a bacia de drenagem.

ANÁLISE LINEAR DE REDE HIDROGRÁFICA

Engloba os índices, cujas medições necessárias foram efetuadas ao longo dos canais de escoamento. Foi feita a análise linear dos seguintes parâmetros: comprimento axial do curso d'água mais longo, em Km, e extensão do percurso superficial (Eps), também em Km.

- *Extensão do Percurso Superficial (Eps)* – representa a distância média percorrida pelas enxurradas entre o interflúvio e o canal permanente, correspondendo a uma das variáveis independentes mais importantes, que afeta tanto o desenvolvimento hidrológico como o fisiográfico das bacias. É calculado pela equação: $Eps = 1 / 2 \times Dd$

Analisar os índices morfométricos significa comparar os valores dos parâmetros considerados tendo-se, assim, noções do comportamento da água em cada condição ambiental.

ANÁLISE GEO-ESTATÍSTICA DOS DADOS MORFOMÉTRICOS

Todas as informações geradas foram posteriormente analisadas através da aplicação de um

pacote estatístico denominado *Cluster Analysis*. Este programa se constitui num pacote de estatística descritiva e técnicas de agrupamento que permite a identificação de grupos que apresentem similaridade de valores, podendo ser avaliados através do coeficiente de correlação de Pearson e por distâncias taxonômicas. As matrizes (dendogramas) poderão ser geradas levando-se em conta grupamentos de atributos ou áreas.

No presente estudo, a análise de grupamento foi feita levando-se em conta a distância taxonômica entre os valores dos índices calculados, gerando grupamentos de bacias similares qualificadas em forte, médio e fraco. Foram analisadas todas as bacias hidrográficas do maciço da Pedra Branca, até a sua 4ª ordem. Cada ordem foi analisada separadamente.

Por último, aquelas bacias, agrupadas e consideradas com forte grau de similaridade, foram analisadas sob a ótica geo-ambiental, levando-se em conta suas características geológicas e pedológicas. Subsidiando essa avaliação foram feitas (a partir da aplicação do SAGA) assinaturas ambientais, cruzando as bacias com as variáveis "litologia" e "solos".

RESULTADOS OBTIDOS

ANÁLISE GEO-ESTATÍSTICA DOS DADOS

A análise geral dos dados contidos na tabela 01 nos permite destacar informações importantes referentes a determinadas bacias, isoladamente.

Ao verificarmos aquelas que mais se destacaram quanto aos índices calculados, pudemos ter algumas considerações. (Ver Tabela 01)

a) com relação às micro-bacias da vertente leste, as que apresentam maior extensão e número de canais são as de maior dimensão areal, configurando-se, assim, como as principais, destacando-se as do rio Grande, rio Camorim, rio da Divisa, rio Piabas e rio do Café. Observa-se que os baixos valores de Dd (densidade de drenagem) e Dh (Densidade hidrográfica) demonstram que nessa relação direta

entre número e extensão dos canais e área da bacia, o nível de dissecação por elas apresentado é relativamente baixo: rio Piabas, rio da Divisa, rio Camorim, rio do Café e rio Grande. Esse comportamento se mantém nas demais bacias que também apresentam valores de Dd e Dh relativamente baixos. Ressalva deve ser feita à bacia do rio Cachoeira (XI) e a bacia VI-A, cujos índices de circularidade são, respectivamente, 0,99 e 0,92, ou seja, essas bacias possuem a forma circular.

Partindo-se do princípio que o Coeficiente de manutenção (Cm) representa a área mínima para a manutenção de um metro de canal de escoamento, esse índice, juntamente com a Extensão do percurso superficial (Eps) representam o grau de dissecação do relevo. De uma maneira geral esses índices apresentam baixos valores para as principais bacias mencionadas anteriormente (Piabas, Divisa, Camorim, Grande e Café) e também para as demais bacias hidrográficas da vertente leste.

b) com relação às micro-bacias da vertente oeste: observa-se que os baixos valores de Dd (Densidade de drenagem) demonstram que nessa relação direta entre o número e extensão dos canais e área da bacia, o nível de dissecação por elas apresentado é baixo (principalmente comparado aos baixos valores apresentados pela vertente leste). Tem-se como exemplo as bacias das Tachas, Chacrinha, Caboclos, Batalha, Lameirão e Lameirão Pequeno. Porém, percebe-se que os valores de Dh (Densidade hidrográfica) da vertente oeste se apresentam bastante altos em comparação com os apresentados pela leste. Esse comportamento se mantém nas demais bacias, de ambas as vertentes. Quanto à forma das micro bacias, praticamente todas elas apresentam valores muito baixos de Ic, possuindo, portanto, a forma retangular, acompanhando a direção dos lineamentos estruturais dominantes. Exemplo característico disso são as bacias que vão da numeração VIII até XXIII.

TABELA 01
ÍNDICES LINEARES E AREAIS DAS MICRO-BACIAS
HIDROGRÁFICAS POR VERTENTES NO MACIÇO DA PEDRA BRANCA/RJ

Índices Bacias Hidrog. (Vertente Leste)	Nº de Segmentos de Canais	Perímetro (Km)	Área (Km²)	Dd (Km de rios por Km²)	Dh (rios por Km²)	Cm (m²)	Ic (Km²)	Eps (Km)
Guaratiba (I)	3	2,6	0,40	1,75	7,50	0,57	0,74	0,29
Bacia (I-A)	1	2,2	0,13	3,08	7,60	0,33	0,33	0,16
São João da Manrigueira (II)	8	7,6	1,07	2,15	6,54	0,47	0,23	0,23
Rio das Almas (III)	14	15,2	3,13	1,47	4,15	0,68	0,17	0,34
Boa Vista (IV)	8	5,8	1,17	2,22	5,98	0,45	0,44	0,23
Bacia (IV-A)	4	2,2	0,25	3,20	16,00	0,31	0,64	0,16
Curupira (V)	5	2,3	0,28	3,61	14,28	0,28	0,67	0,14
Rio Piabas (VI)	38	11,6	7,24	1,48	3,17	0,68	0,68	0,34
Bacia (VI-A)	15	3,2	0,75	4,67	12,00	0,21	0,92	0,11
Bacia (VI-B)	10	4,8	0,63	3,81	14,2	0,26	0,34	0,13
Rio Bonito (VII)	19	6,0	1,05	3,24	11,40	0,31	0,37	0,15
Cascalho (VIII)	6	5,0	0,79	2,66	6,32	0,38	0,40	0,19
Rio Porão (IX)	13	7,8	1,38	1,96	6,52	0,51	0,29	0,26
Rio Morgado (X)	11	5,2	1,19	2,35	5,88	0,43	0,55	0,21
Rio da Cachoeira (XI)	17	5,2	2,13	2,54	4,69	0,39	0,99	0,01
Rio Cabungui (XII)	24	8,0	3,04	2,57	4,93	0,39	0,60	0,20
Rio da Divisa (XIII)	66	13,4	9,07	2,97	3,85	0,34	0,63	0,17
Rio do Café (XIV)	44	14,6	6,82	2,08	1,61	0,48	0,40	0,24
Rio Vargem Pequena (XV)	16	13,0	4,32	1,44	2,77	0,69	0,32	0,35
Rosilha (XVI)	6	11,0	2,28	0,79	1,75	1,27	0,24	0,01
Rio Camorim (XVII)	50	16,6	6,96	2,40	5,45	0,42	0,32	0,21
Engenho Novo (XVIII)	28	15,9	5,75	1,60	4,00	0,63	0,29	0,31
Bacia (XVIII-A)	6	5,0	0,69	1,16	8,70	0,86	0,35	0,43
Rio do Areal (XIX)	10	11,5	3,95	0,81	1,77	1,24	0,38	0,61
Rio Grande (XX)	84	24,0	13,72	2,14	4,51	0,47	0,30	0,23
Rio Pequeno (XXI)	28	16,0	6,64	1,64	3,16	0,61	0,33	0,31
Rio Teixeira (XXII)	11	8,2	1,83	2,08	5,46	0,48	0,34	0,24
Bacia (XXII-A)	2	1,5	0,12	3,33	16,66	0,30	0,67	0,15
Rio Boiúnas (XXIII)	3	7,0	1,28	1,09	1,56	0,92	0,33	0,39
Caixa D'água (XXIV)	5	6,8	1,01	1,98	4,95	0,51	0,28	0,25
Índices Bacias Hidrog. (Vertente Oeste)	Nº de Segmentos de Canais	Perímetro (Km)	Área (Km²)	Dd (Km de rios por Km²)	Dh (rios por Km²)	Cm (m²)	Ic (Km²)	Eps (Km)
Guaratiba (I)	9	42,3	1,24	0,88	7,25	1,14	0,008	0,76
Itapuca (II)	3	20,2	0,30	0,66	10,00	1,52	0,009	0,75
Bacia (II - A)	6	50,1	0,46	0,86	13,04	1,63	0,028	0,58
Santo Antônio (III)	15	110,5	1,42	1,26	10,50	0,79	0,017	0,39
Bacia (III - A)	2	40,4	0,17	1,17	11,70	0,86	0,001	0,42
Bacia (III - B)	3	29,2	0,36	1,11	8,30	0,90	0,005	0,45
Bacia (III - C)	4	24,6	0,42	1,66	9,52	0,60	0,008	0,30
Olana (IV)	13	88,8	1,42	1,61	9,15	0,62	0,002	0,31
Ilha (V)	14	49,2	1,43	1,39	9,79	0,72	0,007	0,35
Bacia (V - A)	6	52,1	0,86	0,93	6,97	1,08	0,004	0,53
Cabaceiro (VI)	11	66,2	1,72	1,33	6,39	0,75	0,004	0,37
Engenho Novo (VII)	10	59,8	1,48	1,21	6,75	0,83	0,005	0,41
Retiro (VIII)	15	75,3	1,42	1,19	10,50	0,84	0,003	0,42
Bacia (VIII - A)	26	56,6	1,59	1,82	16,30	0,55	0,006	0,27
Das Taxas (IX)	51	80,8	4,69	1,62	10,80	0,62	0,009	0,30
Bacia (X)	10	68,1	1,39	0,79	7,10	1,27	0,003	0,63
Capitão Inácio (XI)	4	83,5	0,67	0,89	5,97	1,12	0,001	0,56
Carapá (XII)	24	130,2	1,84	1,14	13,00	0,88	0,001	0,42

**TABELA 01 - ÍNDICES LINEARES E AREAIS DAS MICRO-BACIAS
HIDROGRÁFICAS POR VERTENTES NO MACIÇO DA PEDRA BRANCA/RJ (CONTINUAÇÃO)**

Bacia (XII - A)	6	80,9	0,33	0,60	18,18	1,67	0,006	0,83
Bacia (XII - B)	5	82,2	0,66	0,90	7,50	1,11	0,001	0,55
Da Chacrinha (XIII)	39	127,5	2,45	1,95	15,90	0,51	1,8	0,25
Bacia (XIV)	10	117,3	1,13	1,06	8,85	0,94	0,003	0,47
Rio Morro (XV)	28	67,4	1,91	1,62	14,65	0,62	0,005	0,30
Dos Cabodós (XVI)	75	107,5	5,89	1,54	12,7	0,65	0,020	0,32
Da Batalha (XVII)	47	163,6	4,82	1,57	9,75	0,64	0,002	0,31
Lameirão (XVIII)	78	136,6	7,72	1,55	10,10	0,65	0,005	0,32
Lameirão Pequeno (XIX)	42	100,4	3,34	1,37	12,57	0,73	0,004	0,36
Moriçaba (XX)	16	45,3	1,01	1,58	15,84	0,63	0,006	0,31
Jardim Oriental (XXI)	27	75,0	2,11	1,61	12,79	0,62	0,004	0,31
Rio dos Cachorros (XXII)	15	77,1	3,15	0,76	4,76	1,32	0,016	0,65
Índices	Nº de Segmentos de Canais	Perímetro (Km)	Área (Km²)	Dd (Km de rios por Km²)	Dh (rios por Km²)	Cm (m²)	Ic (Km²)	Eps (Km)
Bacias Hidrog. (Vertente Norte)								
Do Viegas (I)	52	74,2	6,75	1,22	7,70	0,82	0,015	0,40
Das Tintas (II)	51	55,0	6,78	1,76	7,52	0,57	0,028	0,28
Sanda (III)	4	33,4	1,98	0,60	2,02	1,67	0,022	0,83
Piraquara (IV)	29	67,3	5,87	1,00	4,94	1,00	0,016	0,50
Caranguejo (V)	19	49,2	2,77	1,04	6,85	0,96	0,014	0,48
Dos Afonsos (VI)	37	73,5	5,05	1,02	7,32	0,98	0,001	0,49
Bacia (VI-A)	3	31,6	1,20	0,50	2,50	2,00	0,015	1,00
Bacia (VI-B)	6	58,6	2,45	0,40	2,44	2,50	0,009	1,25
Bacia (VI-C)	2	19,6	0,61	0,49	3,27	2,04	0,020	1,02
Bacia (VI-D)	7	33,0	1,00	0,70	7,00	1,41	0,011	0,71
Bacia (VI-E)	3	23,8	0,43	0,46	6,97	2,17	0,001	1,08

FONTE: GRUPO DE ESTUDOS AMBIENTAIS (GEA/UERJ), 1988.

c) com relação às micro bacias da vertente norte: comparativamente às demais vertentes, a porção norte do maciço da Pedra Branca é a mais deficitária em drenagem e isso se traduz nos baixos valores de Dd e Dh (a grande maioria das bacias tem valores inferiores a 01 para a Dd e 08 para a Dh). São bacias retangulares (os valores dos índices de circularidade são distantes de 1) com canais retilíneos e com número de segmentos de canais relativamente baixos, com exceção das bacias do Viegas, Tintas, dos Afonso e Piraquara (52, 51, 37 e 29).

A aplicação do *Cluster Analysis* permitiu agrupar as micro bacias, inicialmente separadas por hierarquias (de 1ª à 4ª ordem) e vertentes, conforme mostra a tabela 02, de acordo com a similaridade interna dos dados morfométricos obtidos em: forte (em um nível de similaridade de

25%), substancial (de 25 a 50% de similaridade) e fraco/nulo (de 50 a 100% de similaridade). De um total de 71 micro bacias, apenas 19 delas apresentam forte similaridade interna entre os valores calculados, destacando-se as bacias dos rios Caboclos e Viegas (nºs 3 e 5 de 4ª ordem); Morgado, Cachoeira, Café e Moriçaba (nºs 3, 4, 6 e 16 de 3ª ordem), sendo as demais, de 1ª e 2ª ordem.

ANÁLISE GEO-AMBIENTAL DOS RESULTADOS OBTIDOS

A literatura consultada mostra que as características geológicas e pedológicas de uma bacia hidrográfica respondem por suas características morfológicas e, conseqüentemente, pelo seu potencial de erodibilidade. A partir da assinatura⁴ feita com o SAGA para todas as micro-bacias

TABELA 02

**RELAÇÃO DAS MICRO-BACIAS HIDROGRÁFICAS POR ORDEM HIERÁRQUICA DE
VERTENTES NO MACIÇO DA PEDRA BRANCA – RJ**

Nº. DAS MICRO BACIAS	BACIAS DE 1ª ORDEM DA VERTENTE LESTE	Nº. DAS MICRO BACIAS	BACIAS DE 1ª ORDEM DA VERTENTE OESTE	Nº. DAS MICRO BACIAS	BACIAS DE 1ª ORDEM DA VERTENTE NORTE
1	Guaratiba leste (I)	8	Bacia (II-A)	15	Caranguejo (V)
2	Bacia (I-A)	9	Bacia (III-A)	16	Bacia (VI-A)
3	Bacia (IV-A)	10	Bacia (III-B)	17	Bacia (VI-C)
4	Rosilha (XVI)	11	Capitão Inácio (XI)	18	Bacia (VI-E)
5	Bacia (XXII-A)	12	Carapia (XII)		
6	Rio Boiúnas (XXIII)	13	Bacia (XII-A)		
7	Caixa D'água (XXIV)	14	Bacia (XII-B)		
Nº. DAS MICRO BACIAS	BACIAS DE 2ª ORDEM DA VERTENTE LESTE	Nº. DAS MICRO BACIAS	BACIAS DE 2ª ORDEM DA VERTENTE OESTE	Nº. DAS MICRO BACIAS	BACIAS DE 2ª ORDEM DA VERTENTE NORTE
1	São João da Mantiqueira (II)	13	Guaratiba (I)	26	Sanda (III)
2	Rio das Almas (III)	14	Itapuca (II)	27	Bacia (VI – B)
3	Boa Vista (IV)	15	Santo Antônio (III)	28	Bacia (VI – D)
4	Curupira (V)	16	Bacia (III – C)		
5	Bacia (VI-A)	17	Olaria (IV)		
6	Bacia (VI-B)	18	Ilha (V)		
7	Rio Bonito (VII)	19	Bacia (V – A)		
8	Cascalho (VIII)	20	Cabaceiro (VI)		
9	Rio da Vargem Pequena (XV)	21	Engenho Novo (VII)		
10	Bacia (XVIII-A)	22	Retiro (VIII)		
11	Rio do Areal (XIX)	23	Bacia (X)		
12	Rio Teixeira (XXII)	24	Bacia (XIV)		
		25	Rio dos Cachorros (XXII)		
Nº. DAS MICRO BACIAS	BACIAS DE 3ª ORDEM DA VERTENTE LESTE	Nº. DAS MICRO BACIAS	BACIAS DE 3ª ORDEM DA VERTENTE OESTE	Nº. DAS MICRO BACIAS	BACIAS DE 3ª ORDEM DA VERTENTE NORTE
1	Rio Piabas (VI)	10	Bacia (VIII – A)	18	Piraquara (IV)
2	Rio Portão (IX)	11	Das Taxas (IX)	19	Dos Afonsos (VI)
3	Rio Morgado (X)	12	Da Chacrinha (XIII)		
4	Rio da Cachoeira (XI)	13	Rio Morto (XV)		
5	Rio Cabungui (XII)	14	Lameirão (XVIII)		
6	Rio do Café (XIV)	15	Lameirão Pequeno (XIX)		
7	Rio Camorim (XVII)	16	Morçaba (XX)		
8	Engenho Novo (XVIII)	17	Jardim Oriental (XXI)		
9	Rio Pequeno (XXI)				
Nº. DAS MICRO BACIAS	BACIAS DE 4ª ORDEM DA VERTENTE LESTE	Nº. DAS MICRO BACIAS	BACIAS DE 4ª ORDEM DA VERTENTE OESTE	Nº. DAS MICRO BACIAS	BACIAS DE 4ª ORDEM DA VERTENTE NORTE
1	Rio da Divisa (XIII)	3	Dos Caboclos (XVI)	5	Do Viegas (I)
2	Rio Grande (XX)	4	Da Batalha (XVII)	6	Das Tintas (II)

FONTE: COSTA, ET AL (1999).

OBS.: AS MICRO-BACIAS, MARCADAS COM A COR CINZA CLARO, SÃO AS QUE APRESENTARAM NÍVEL DE SIMILARIDADE FORTE (TABELA 03).

estudadas (com relação à litologia e solos) foi possível, à luz dessas variáveis, justificar o alto grau de similaridade encontrado nas diferentes ordens trabalhadas. A pequena distância taxonômica encontrada entre os vários índices calculados, nas seis bacias de 1ª ordem, sete de 2ª ordem, quatro de 3ª ordem e duas de 4ª ordem (tabela 3 e figura 2) leva a inferir que elas apresentam certa homogeneidade interna quanto a sua morfometria, refletindo um quadro litológico e pedológico de certa forma homogêneo.

Analisando o papel dos solos na resposta apresentada por essas bacias, observa-se que as de 2ª e 4ª ordem apresentam maior homogeneidade pedológica, justificada por associações entre Podzólico-Vermelho Amarelo (PE3 + PE4) com 50% de suas áreas respectivamente por eles recobertas (gráfico 01).

Entretanto, é quanto à litologia que a associação é maior. A existência de homogeneidade é mais expressiva também nas mesmas micro-bacias, porém com percentuais de áreas recobertas maiores, chegando a quase 70% nas bacias de 4ª ordem. A litologia representativa, neste caso, é o granito, da unidade sienogranítica (gráfico 02).

No conjunto global, podemos afirmar que, sob o ponto de vista morfológico, esse conjunto

de micro-bacias apresenta baixa vulnerabilidade a ocorrência de processos erosivos – determinado em grande parte pelo granito, litologia mais resistente ao intemperismo comparativamente aos gnaisses das encaixantes – apesar da presença de solos susceptíveis à erosão.

Numa situação inversa, encontram-se 29 micro-bacias (tabela 03) cujos níveis de similaridade quanto aos parâmetros medidos são menores (maior distância taxonômica). Isso se justifica pela variedade de solos e rochas neles encontrados, conforme demonstraram os resultados da assinatura ambiental. Nelas, os movimentos de massa e processos erosivos têm maiores probabilidades de ocorrência. Ratificando essa afirmativa, encontra-se a maior e mais importante bacia hidrográfica de todo o maciço da Pedra Branca: bacia do rio Grande, onde foram desencadeados, durante as chuvas de 1996, escorregamentos complexos de grande magnitude.

Convém ressaltar que o controle estrutural exercido pelos lineamentos (associados, muitas vezes, à presença de diques de diabásio) presentes nestas bacias, relacionados aos aspectos morfológicos diferenciados, agravam este quadro.

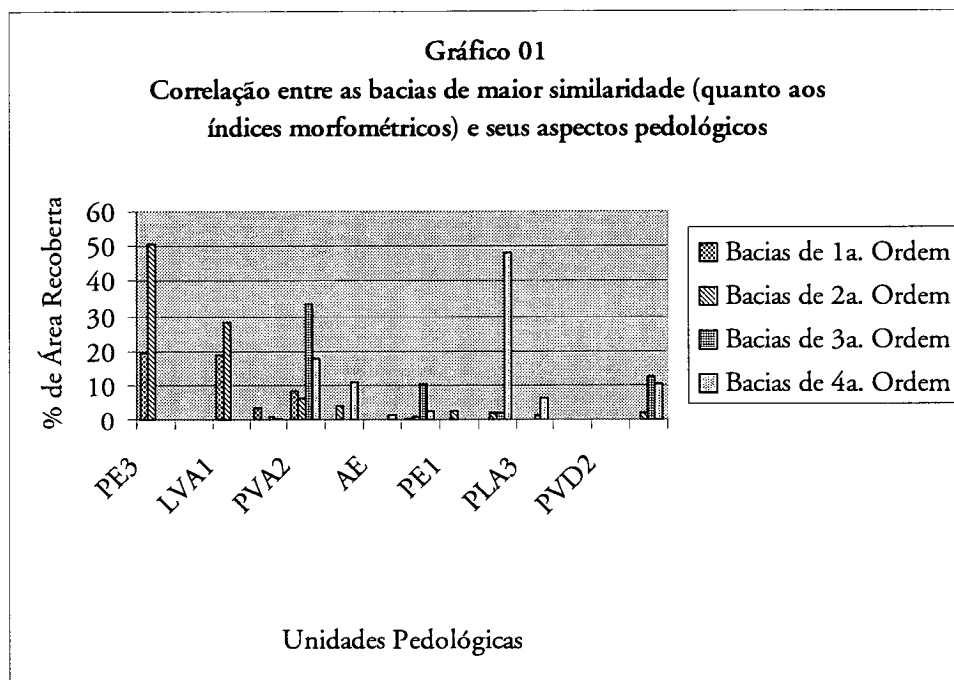


Gráfico 02

Correlação entre as bacias de maior similaridade (quanto aos índices morfométricos) e seus aspectos litológicos

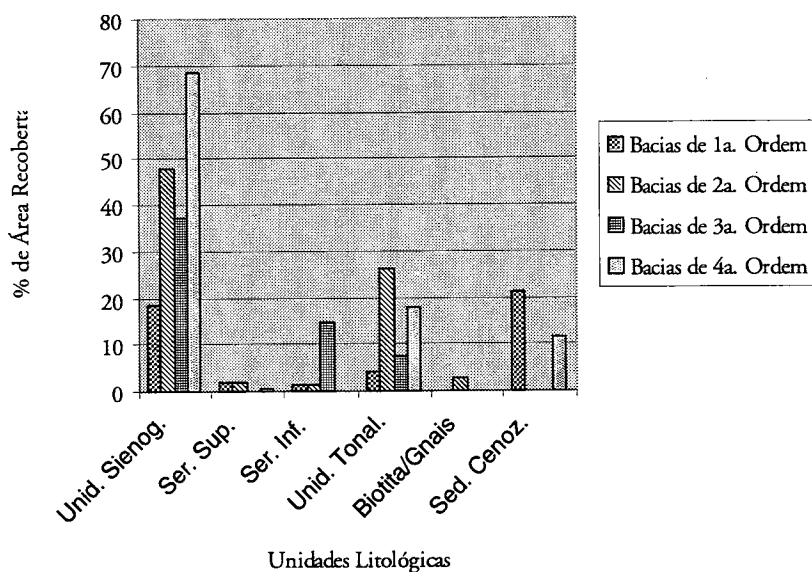


TABELA 03

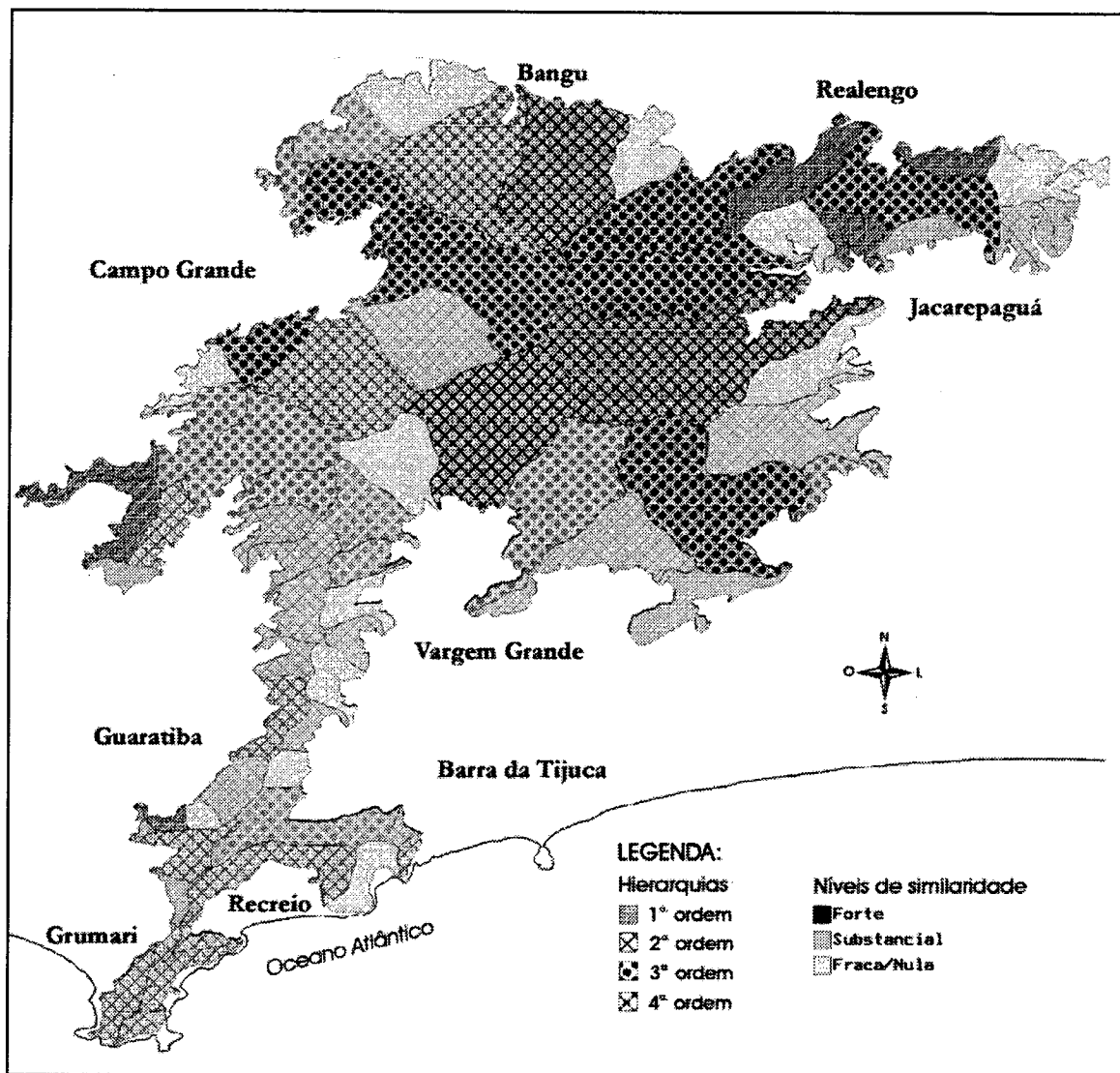
NÍVEL DE SIMILARIDADE ENTRE AS MICRO-BACIAS
HIDROGRÁFICAS (MACIÇO DA PEDRA BRANCA - RJ)

ORDEM HIERÁRQUICA DAS MICRO-BACIAS	Nº. CORRESPONDENTE ÀS MICRO-BACIAS POR NÍVEL DE SIMILARIDADE			TOTAL POR ORDEM HIERÁRQUICA
	FORTE 0.3-0.7	SUBSTANCIAL > 0.7-1.1	FRACA/NULA > 1.1-1.9	
1ª	1, 3, 8, 9, 11, 17	2, 4, 5, 7, 18	6, 10, 12, 13, 14, 15, 16	18
2ª	1, 2, 13, 14, 15, 18, 23	4, 6, 8, 9, 10, 17, 19, 20, 21, 22, 28	3, 5, 7, 11, 12, 16, 24, 25, 26, 27	28
3ª	3, 4, 6, 16	1, 8, 10, 11, 12, 17	2, 5, 7, 9, 13, 14, 15, 18, 19	19
4ª	3, 5	4	1, 2, 6	6
TOTAL	19	23	29	71

FONTE: COSTA ET AL (1999)

FIGURA 02

MAPA DE NÍVEL DE SIMILARIDADE (DISTÂNCIA TAXONÔMICA) QUANTO AOS ÍNDICES MORFOMÉTRICOS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DO MACIÇO DA PEDRA BRANCA/RJ



FONTE: GRUPO DE ESTUDOS AMBIENTAIS (GEA/UERJ).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos com a presente investigação demonstraram a importância da análise desenvolvida como subsídio à identificação de áreas potenciais quanto a ocorrência de erosão.

A principal conclusão é que a vertente norte concentra a grande maioria das bacias de maior vulnerabilidade à erosão, o que pode ser justificado pela ocorrência de contatos litológicos entre os vários gnaisses e o granito.

Se a ela forem correlacionadas outras avaliações, conjugando outras variáveis geomorfológicas e o uso/ocupação do solo, as respostas a serem obtidas poderão ratificar as indicações feitas neste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ), pelo fomento ao Projeto "Análise Geo-Ambiental Comparativa das Bacias Hidrográficas do Maciço da Pedra Branca - RJ" e concessão de bolsas de iniciação científica.

Ao Prof. Dr. Mauro S. F. Argento pelas importantes contribuições na aplicação do software *Cluster Analysis*.

A Prof^ª. Msc. Nadja Maria Castilho da Costa pela orientação e incentivo na realização do presente trabalho.

NOTAS

- * Licenciada, Geógrafa e bolsista de Iniciação Científica do UERJ/PIBIC no Grupo de Estudos Ambientais - GEA.
 - ** Licenciada, Estudante de graduação do curso de bacharelado de Geografia e bolsista da Fundação Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro, no Grupo de Estudos Ambientais - GEA.
 - *** Geógrafa, licencianda do curso de Geografia da UERJ e bolsista da Fundação Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro, no Grupo de Estudos Ambientais - GEA.
- 1 São, em sua maioria, de alvenaria, embora existam barracos feitos de estuque ou madeira.
 - 2 Foram tomadas com base 8 (oito) folhas topográficas na escala de 1:10.000, posteriormente sintetizadas na escala de 1:20.000.

- 3 AEROFOTO/CRUZEIRO (1996) Fotografias aéreas, na escala de 1:10.000, Aerofoto/Cruzeiro, Rio de Janeiro, RJ.
- 4 Sistema de Análise Geo-ambiental desenvolvido por Xavier da Silva (1983), no Laboratório de Geoprocessamento do Depr^o. de Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).
- 5 "As assinaturas ambientais são procedimentos que permitem identificar associações de características, bem como realização de planimetrias, em um determinado lugar de ocorrências (contextações da realidade) ambientais de interesse (...)" (Silva e Carvalho Filho, 1993, p. 612).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- BELTRAME, A. da Veiga. *Diagnóstico do meio físico de bacias hidrográficas* - modelo e aplicação. Florianópolis: ed. UFSC, 1994. 112p.
- CHIRISTOFOLETTI, A. *Geomorfologia fluvial*. São Paulo: Edgard Blücher, 1980. 313p.
- COSTA, A. J. S. T. et al. A importância do estudo das mudanças do uso do solo e sua influência sobre as bacias de drenagem urbanas. *Anais do VII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada/I Fórum Latino-Americano de Geografia Física Aplicada*. Vol. 1. Curitiba, 1997. p. 87.
- COSTA, N. M. C. da. *Geomorfologia estrutural dos maciços litorâneos do Rio de Janeiro*. (Dissertação de Mestrado). Rio de Janeiro: Instituto de Geociências, UFRJ, 1986, 115p.
- COSTA, N. M. C. et al. Avaliação sócio-econômica e ambiental de algumas comunidades residentes em unidades de conservação brasileiras e chilenas: Parque Estadual da Pedra Branca e Parque Nacional La Campana. *Anais do V Congresso Internacional Ciencias de la Tierra*. Santiago, 1998.
- DAVIS, JOHN C. *Statistics and data analysis in geology*. 1973. Traduzido por Mônica Martins Coimbra.
- DI BIASI, M. Cartas de declividade de vertente - Confecção e Utilização. *Geomorfologia*, São Paulo: IGEO/USP, n^o 21, p. 8-13, 1970.
- FARIA, A. P. de. *Dinâmica e fragilidade das bacias fluviais de primeira ordem*. Tese de Doutorado em Geografia do Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1996. 216 p.
- GIOMETTI, A. L. A bacia hidrográfica como subsídio ao planejamento ambiental. *Anais do VII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada/I Fórum Latino-Americano de Geografia Física Aplicada*. Vol. 1, Curitiba, 1997. p. 263.

- GUERRA, A. J. T. *Processos erosivos nas encostas*. In: Guerra, A. J. T. e CUNHA, S. B. da. *Geomorfologia*, p. 93-148. Rio de Janeiro: Ed. Bertrand, 1994.
- MARQUES, J. S.. *A participação dos rios no processo de sedimentação da Baixada de Jacarepaguá*. Tese de Doutorado. São Paulo: Instituto de Geociências e Ciências Exatas/UNESP, 1990. 245 p.
- PENHA, H. M. *Geologia do Maciço da Pedra Branca - RJ*. Comunicação Academia Brasileira de Ciência, 56 (3), 1984. 355 p.
- PORTO, JR. R. *Petrologia das rochas graníticas das serras da Pedra Branca e Misericórdia - Município do Rio de Janeiro*. Dissertação de Mestrado, Rio de Janeiro, 1993. 103 p.
- STRAHLER, A. N. Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology. *Trans. Amer. Geophys. Union*, 38, 1957. pp. 913-920.

ABSTRACT

The tropical mountainous regions, as in the coastal massifs of Rio de Janeiro city, has been suffering, in last decades, intense mass movement and erosive process promoted by summer rains, generating serious social-environmental consequences.

The Pedra Branca massif, the most important geomorphological form in the country, presents its hillsides with strong erosive potential, identified by present investigation, through morphological and morphometric analysis of its drainage basin

associated to the dominant study of its litho-structural picture.

Methodologically, it was marked the limits of the 1st to 4th order drainage basins of the Pedra Branca Massif, including the work of the canal hierarchization, according to Strahler method (1957). Next, the principal basins morphometry (hd, dd, eps,...) were calculated and, its values, grouped according to micro-basins hierarchy.

The application of the multi-diverse statistical technique called "Cluster Analysis", resulted in the establishment of micro-basins grouping, by similarity, taking into consideration only one of classification criterion, as to know; the taxonomic distances.

Then, we defined a matrix that could express the spatial behaviour of the studied micro-basins, and the results were interpreted in the light of the geologic-geomorphologic knowledge of the region.

KEYWORDS:

Morphological and Morphometric Analysis, Drainage Basins, Erodibility, Geomorphology.