

## **CARTA DE SUSCETIBILIDADE MORFOMÉTRICA DE BACIAS DE DRENAGEM AO DESENVOLVIMENTO DE INUNDAÇÕES NO LITORAL NORTE DE SÃO PAULO**

SOUZA, C.R de G<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Instituto Geológico-SMA. Av. Miguel Stéfano, 3900. 04301-903. São Paulo (SP). Tel. (11) 50772160. Fax (11) 50772219. [celia@igeologico.sp.gov.br](mailto:celia@igeologico.sp.gov.br)

### **RESUMO**

Inundações, enchentes e alagamentos em regiões costeiras são eventos controlados por diversos fatores naturais e antrópicos: climático-meteorológicos, geológicos, geomorfológicos, flúvio-hidrológicos, oceanográficos e intervenções antrópicas nas bacias de drenagem. No contexto do Projeto SIIGAL (Sistema Integrador de Informações Geoambientais para o Litoral de São Paulo, Aplicado ao Gerenciamento Costeiro), foi elaborada a Carta de Risco a Inundações, Enchentes e Alagamentos para o Litoral Norte de São Paulo (municípios de São Sebastião, Ilhabela, Caraguatatuba e Ubatuba), para a qual foram considerados os mais importantes atributos associados aos fatores apontados acima. Dentre os fatores geomorfológicos destaca-se a morfometria da bacia de drenagem, apontada por inúmeros autores como forte controladora das características hidrológicas e do escoamento superficial da mesma. Assim, foi criado o índice de suscetibilidade morfométrica da bacia ao desenvolvimento de inundações (SM), o qual integra simultaneamente (análise multivariada) diversos parâmetros morfométricos: *Ordem Hierárquica (O)*, *Forma da bacia (Fg)*, *Fator Forma (Kf)*, *Comprimento do Canal Principal (L)*, *Área da bacia (AT)*, *Área da bacia na Encosta (AEnc)*, *Área da bacia na Planície Costeira (APC)*, *Perímetro da bacia (P)*, *Frequência de Canais Totais na Encosta (FcEnc)* e *na Planície Costeira (FcPC)*, *Frequência de Canais de 1ª Ordem (Fc1)*, *Declividade média do Canal Principal (S)*, *Densidade Hidrográfica Total (DhT)*, *na Encosta (DhEnc)* e *na Planície Costeira (DhPC)* e *Densidade de Confluências Total (DcT)*, *na Encosta (DcEnc)* e *na Planície Costeira (DcPC)*. SM é representada como:  $SM = f(O \cdot Fg \cdot Kf \cdot AT \cdot AEnc \cdot APC \cdot P \cdot L \cdot FcEnc \cdot FcPC \cdot Fc1 \cdot DhT \cdot DhEnc \cdot DhPC \cdot DcT \cdot DcEnc \cdot DcPC \cdot 1/S)$ . O presente trabalho mostra a aplicação desse índice nas bacias de drenagem do Litoral Norte do Estado de São Paulo, através da Carta de Suscetibilidade Morfométrica. Dentre as 32 bacias estudadas (ordem hierárquica  $\geq 3$ ), 11 apresentaram Alta SM, 12 Média SM e 9 Baixa SM. Dentre os 18 parâmetros utilizados, 14 parecem controlar mais as variações de SM, na seguinte ordem: *Dh (total, planície e encosta)*, *Dc (total, planície e encosta)*, *S*, *Fc1*, *Fc (planície e encosta)*, *O*, *A*, *P* e *L*. Embora os eventos ocorram somente em áreas de planície costeira e baixa-encosta, é nas encostas da Serra do Mar que as bacias recebem o maior volume de água das chuvas. Portanto, a utilização desse índice é fundamental, pois permite integrar e analisar o comportamento da bacia como um todo.

Palavras-chave: inundação, parâmetros morfométricos, bacia de drenagem, suscetibilidade morfométrica, litoral paulista.

### **INTRODUÇÃO**

De acordo com Cooke & Doornkamp (1990), os fatores que se interrelacionam e são responsáveis pela ocorrência de eventos de inundação podem ser divididos em transitórios, permanentes e mistos. Os transitórios estão associados à ocorrência de chuvas, taxas de evapotranspiração e grau de saturação do solo. Os fatores permanentes correspondem às características morfométricas da bacia de drenagem e à geologia. Os fatores mistos estão relacionados ao tipo de uso e ocupação do solo.

Em regiões costeiras, os fatores condicionantes de inundações, enchentes e alagamentos são de origem natural e antrópica (Souza, 1998). Os condicionantes naturais são divididos em: climático-meteorológicos (magnitude e frequência de chuvas associadas a frentes frias, fenômenos climáticos como *El Niño* e *La Niña* etc.), geológico-geomorfológicos (substrato geológico, morfometria da bacia de drenagem, geomorfologia

fluvial, solo e cobertura vegetal), flúvio-hidrológicos (hidráulica fluvial, correntes geradas por marés em áreas estuarinas e lagunares etc.) e oceanográficos (influência das marés e da dinâmica de circulação costeira junto à desembocadura fluvial ou lagunar). Os condicionantes antrópicos resultam de intervenções humanas diretas ou indiretas nas bacias de drenagem, podendo ser genericamente agrupados em: uso e ocupação de áreas marginais aos canais de drenagem (águas doces e mixohalinas); modificações na rede de drenagem (aterros, construção de estruturas lineares e barragens; implantação de medidas estruturais para minimizar enchentes, disposição de resíduos sólidos e líquidos em locais inadequados ou nos próprios canais etc.) e modificações nos processos sedimentares naturais e no balanço sedimentar do sistema costeiro.

Inúmeros autores têm encontrado fortes correlações entre os parâmetros morfométricos de bacias de drenagem e as suas características hidrológicas, portanto, a sua suscetibilidade em desenvolver inundações (Souza, 2005a). Essas correlações, no entanto, têm sido feitas no máximo para três ou quatro parâmetros morfométricos em conjunto. Isto ocorre por causa da dificuldade em: estabelecer intervalos genéricos de referência para esses parâmetros; comparar e interpretar os valores absolutos de muitos parâmetros entre si quando várias bacias são analisadas em conjunto; classificar esses parâmetros em graus de suscetibilidade ao desenvolvimento de inundações.

Para contornar essa limitação, Souza (2005a) criou um índice denominado índice de Suscetibilidade Morfométrica (SM) da bacia de drenagem ao desenvolvimento de inundações na planície costeira, o qual responde a uma análise multivariada de inúmeros parâmetros morfométricos.

O presente trabalho apresenta a Carta de Suscetibilidade Morfométrica ao Desenvolvimento de Inundações obtida para as bacias hidrográficas do Litoral Norte de São Paulo. Essa carta foi elaborada no âmbito do Projeto SIIGAL -“Sistema Integrador de Informações Geoambientais para o Litoral do Estado de São Paulo, Aplicado ao Gerenciamento Costeiro” (Souza, 2005b), nos estudos para a Carta de Risco a Inundações, Enchentes e Alagamentos (Souza, 2004).

## **ÁREA DE ESTUDO**

A área de estudo compreende 32 bacias de drenagem localizadas no Litoral Norte de São Paulo (municípios de São Sebastião, Ilhabela, Caraguatatuba e Ubatuba), todas de ordem hierárquica (segundo Strahler, 1952) maior ou igual a 3. Esta restrição reside no fato de que no município de São Sebastião (Litoral Norte) as enchentes/inundações ocorrem em

bacias a partir dessa ordem (IG-SMA, 1996; Souza, 1998). Isto pode ser estendido para o restante do Litoral Norte, que guarda características fisiográficas semelhantes às de São Sebastião.

As bacias de drenagem do litoral paulista drenam suas águas através de dois grandes compartimentos geomorfológicos: a Serra do Mar (borda do Planalto Atlântico em escarpamento estrutural) e a Planície Costeira. No Litoral Norte, as cabeceiras dessas bacias e, em geral, a maior área de captação das mesmas encontram-se em terrenos bastante estruturados do embasamento ígneo-metamórfico pré-cambriano-mesozóico, que suporta o conjunto orográfico da Serra do Mar. O relevo apresenta rugosidade e amplitude elevadas, definindo um padrão de drenagem denso, dendrítico e com rios curtos e encaixados nas estruturas geológicas. Ao deixarem as encostas íngremes, os rios passam a percorrer terrenos da planície costeira formados por sedimentos quaternários (principalmente marinhos, aluvionares e coluvionares de baixada), com lençol freático raso ( $\leq 2\text{m}$ ) a superficial e declividades baixas até nulas, para então atingirem a linha de costa, onde encontram praias de diferentes estados morfodinâmicos (Souza, 2004, 2005a).

Na área de estudo as chuvas orográficas são muito importantes, pois as altitudes da Serra do Mar atingem até mais de 1.000 m. Este tipo de regime pluvial é propício ao desenvolvimento de inundações e enchentes relâmpago. Estudos sobre o regime climático do Litoral Norte para os últimos 30 anos (Sant'Anna Neto *et al.*, 2003) revelam que o padrão pluviométrico habitual para a região varia de 1300-1400 mm/ano na área urbana do município de São Sebastião (localizada no interior do Canal de Sebastião, à retaguarda da Ilhabela) até  $>3000$  mm/ano nas regiões mais elevadas da Serra do Mar (Ubatuba e Caraguatatuba). Da mesma forma, o índice de variabilidade climática também é alto para toda a região, exceto na planície costeira de Caraguatatuba, onde é médio.

Assim, pode-se supor que a maioria dessas bacias é naturalmente suscetível ao desenvolvimento de inundações, uma vez que os rios da planície não têm competência para escoar facilmente todo o grande volume de água que sai das encostas, que se soma ao excedente que está sendo despejado nos vales principais da planície costeira e às águas das preamares que adentram esses rios. Note-se bem que pode haver também um represamento das águas das cheias junto à linha de costa, devido à presença de zonas de sotamar de células de deriva litorânea nas desembocaduras fluviais (Souza, 1998).

São raros os dados hidrológicos para as bacias do Litoral Norte de São Paulo, sendo que os únicos dados disponíveis correspondem a curtos períodos de medições de vazão

(em geral 1 ano) em alguns poucos rios, medições estas destinadas a cálculos para construção de captações de água para o consumo humano de pequenos núcleos urbanos.

## **MÉTODOS**

### **a) Cartografia Digital no âmbito do Projeto SIIGAL**

O SIIGAL constitui um sistema especialista que integra e gerencia informações multivariadas alfanuméricas e espaciais do litoral paulista, com área-piloto no Litoral Norte (Souza, 2005b). O sistema é dividido em três níveis hierárquicos: nível superior (Produtos Básicos), que reúne informações básicas ou diagnósticos ambientais; e dois níveis inferiores (Produtos Intermediários e Finais), cujos produtos são automatizados e congregam vários prognósticos ambientais obtidos através de modelagens matemáticas. Dentre os Produtos Básicos está o Mapa de Bacias Hidrográficas, cujo banco de dados apresenta informações sobre os parâmetros morfométricos das bacias hidrográficas de ordem hierárquica  $\geq 3$ , além de dados sobre as bacias de captação de água para abastecimento público. Dentre os Produtos Intermediários está a Carta de Risco a Inundações, Enchentes e Alagamentos, para a qual um dos atributos de classificação utilizado foi o índice de Suscetibilidade Morfométrica. Todos esses produtos foram obtidos em escala 1:50.000.

A delimitação das bacias hidrográficas foi feita a partir de cartas topográficas em escala 1:50.000, digitalizadas no *software Map Info 5.0*. Os parâmetros morfométricos foram calculados com base na literatura especializada (revisão apresentada em Souza, 2005a), e os dados computados em planilha do *SQL-Server 2000* (banco de dados alfanumérico). O gerenciador de sistemas do SIIGAL é o *software MapObjects 2.2* e a linguagem de programação utilizou o *software Delphi 7* (Souza, 2005b).

### **b) Suscetibilidade Morfométrica das Bacias de Drenagem**

A análise morfométrica de bacias hidrográficas pode ser entendida em Geomorfologia como processos sistemáticos e racionais, cuja preocupação é a de “medir as formas do relevo”, ou seja, a geometria das bacias de drenagem (Horton, 1945).

Horton (1932 *apud* Horton, 1945) foi o primeiro a fazer estudos quantitativos de bacias de drenagem e a analisar as relações entre suas propriedades morfométricas características hidrológicas. Seguiram-se muitos outros autores, sistematizando parâmetros morfométricos em bacias hidrográficas da Europa e dos Estados Unidos e relacionando alguns deles ao comportamento do escoamento superficial, à descarga fluvial e ao

desenvolvimento de inundações e enchentes. Dentre esses autores destacam-se: Horton (1945), Strahler (1952, 1964), Chorley (1957), Chorley *et al.* (1957), Morisawa (1962), Patton & Baker (1976), Patton (1988) e Zăvoianu (1985).

Souza (2005a) apresenta extensa revisão sobre os parâmetros morfométricos descritos na literatura e a sua relação com o desenvolvimento de inundações nas bacias hidrográficas.

A suscetibilidade natural corresponde ao grau de probabilidade que os atributos naturais têm em condicionar, induzir ou acelerar a ocorrência de um determinado perigo geológico ou hidrológico (Varnes, 1984). O índice de “Suscetibilidade Morfométrica” (SM) proposto por Souza (2005a) é um desses atributos. É produto da análise multivariada dos atributos geométricos da bacia de drenagem, e define a parcela de responsabilidade dos mesmos no seu comportamento hidrológico e, portanto, no desencadeamento de inundações.

Na área de estudo, os dois compartimentos geomorfológicos que integram as bacias hidrográficas – as vertentes da Serra do Mar e a Planície Costeira, apresentam comportamentos hidrológicos bastante diferentes entre si e, portanto, responderão de maneira diversa em relação aos coeficientes de escoamento e de aceleração da formação e da propagação de inundações/enchentes (Souza, 2005a). Por isso, também devem ser tratados de maneira independente.

Com base nessas diferenças, Souza (2005a) concluiu que dentre os inúmeros parâmetros morfométricos descritos na literatura, aqueles que apresentariam melhor relação quanto ao desencadeamento potencial de inundações para a área de estudo são: *Ordem Hierárquica (O)* segundo Strahler (1952), *Forma da bacia (Fg)*, *Fator Forma (Kf)*, *Comprimento do Canal Principal (L)*, *Área da bacia (AT)*, *Área da bacia na Encosta (AEnc)*, *Área da bacia na Planície Costeira (APC)*, *Perímetro da bacia (P)*, *Frequência de Canais Totais na Encosta (FcEnc)* e *na Planície Costeira (FcPC)*, *Frequência de Canais de 1ª Ordem (Fc1)*, *Declividade média do Canal Principal (S)*, *Densidade Hidrográfica Total (DhT)*, *na Encosta (DhEnc)* e *na Planície Costeira (DhPC)* e *Densidade de Confluências Total (DcT)*, *na Encosta (DcEnc)* e *na Planície Costeira (DcPC)*. A SM de uma bacia de drenagem é então função direta ou inversamente proporcional a esses parâmetros, tal que:

$$SM = f(O \cdot Fg \cdot Kf \cdot AT \cdot AEnc \cdot APC \cdot P \cdot L \cdot FcEnc \cdot FcPC \cdot Fc1 \cdot DhT \cdot DhEnc \cdot DhPC \cdot DcT \cdot DcEnc \cdot DcPC \cdot 1/S). \quad [\text{Equação 1}]$$

A escala de SM adotada neste estudo é de três classes: **Alta**, **Média** e **Baixa**. Como cada parâmetro morfométrico apresenta uma variação de valores que dependem das características das bacias analisadas (valores estes que podem ser próximos entre si ou bastante heterogêneos), então cada um será classificado relativamente em função de três intervalos, calculados em relação ao conjunto das bacias analisadas. Para tanto, são identificados os valores máximo e mínimo de cada parâmetro para o conjunto das bacias estudadas, os quais serão subtraídos entre si e o total dividido por 3, para se obter o “fator de variação” (valores anômalos devem ser deixados de fora do cálculo dos intervalos, pois interferem na média e no desvio padrão amostral). O “fator de variação” é então somado ao valor mínimo para se obter o primeiro intervalo de referência, ao qual será atribuído 1 ponto (**Baixa SM**). Na seqüência, aplica-se o mesmo procedimento para a obtenção do segundo intervalo, ao qual serão atribuídos 2 pontos (**Média SM**), e do 3º intervalo, ao qual serão atribuídos 3 pontos (**Alta SM**). Note-se bem que essa pontuação foi assim distribuída para as três classes de SM, em função dos critérios estabelecidos na Equação 1 (SM aumenta em função do aumento dos valores dos parâmetros morfométricos, exceto para o parâmetro “S”, pois SM diminui com o aumento da declividade do canal principal). Para a obtenção do índice SM final de cada bacia, é feita a somatória de todos os pontos, calculado o “fator de variação” e depois adotado o mesmo procedimento de obtenção dos intervalos e atribuições de pontos. No caso da área de estudo, como foram selecionados 18 parâmetros, então o número mínimo total de pontos será 18 (bacias com mais baixa SM) e o número máximo 54 (bacias com maior SM).

## RESULTADOS OBTIDOS

A Tabela 1 mostra os resultados dos parâmetros morfométricos obtidos para as 32 bacias de drenagem estudadas.

No Litoral Norte a menor bacia é a do Rio São Francisco (São Sebastião), de 3ª ordem, com área total de 5,88 km<sup>2</sup>, perímetro de 9,97 km e comprimento do canal principal de 2,65 km, cuja declividade média é de 12°. A maior bacia é a do Rio Juqueriquerê (Caraguatatuba), única de 7ª ordem nesse trecho do litoral paulista, com área total de 385,62 km<sup>2</sup>, 135,25 km de perímetro e comprimento do canal principal de 39,50 km, cuja declividade média é de 10°.

Entre 70% e até 97,8% dos canais dessas bacias são de 1ª ordem. Em geral, mais de 70% dos canais encontram-se nos segmentos de vertente das bacias de drenagem, exceção feita às bacias do Rio Tabatinga e Ribeirão da Lagoa, onde essa porcentagem encontra-se

na planície costeira. Por outro lado, a densidade hidrográfica ora é maior na planície costeira, ora nas vertentes, enquanto a densidade de confluências é em geral maior na planície. A maior densidade hidrográfica total está na bacia do Rio Cambury/Córrego Duas Irmãs (3,81 canais/km<sup>2</sup>) e a menor na do Ribeirão da Lagoa (0,72 canais/km<sup>2</sup>). Em relação à planície costeira, a maior densidade hidrográfica está na bacia do Rio Prumirim (9,72 canais/km<sup>2</sup>) e a menor está na bacia do Rio Sahy-Preto (0,38 canais/km<sup>2</sup>). A densidade de confluências total é maior também na bacia do Rio Cambury/Córrego Duas Irmãs (2,51 confluências/km<sup>2</sup>) e menor na bacia do Rio Comprido-Escuro (0,45 confluências/km<sup>2</sup>). Para a planície costeira, a maior densidade de confluências está na bacia do Rio Prumirim (6,90 confluências/km<sup>2</sup>) e a menor na bacia do Rio Sahy-Preto (0,47 confluências/km<sup>2</sup>).

A Tabela 2 mostra os resultados obtidos para a classificação das suscetibilidades morfométricas das bacias e a Figura 1 o mapa obtido.

Tabela 1. Parâmetros morfométricos obtidos para as bacias de drenagem do Litoral Norte de São Paulo (modificado de Souza, 2005)

| ID | Bacia                       | Município     | O | Fg         | Kf<br>(A/L <sup>2</sup> ) | L (km) | A (km <sup>2</sup> ) |       |        | P (km) | Fc (%) |       | Fcl<br>(%) | S<br>(graus) | Dh (n°can/km <sup>2</sup> ) |      |      | Dc (n°confl./km <sup>2</sup> ) |      |      |
|----|-----------------------------|---------------|---|------------|---------------------------|--------|----------------------|-------|--------|--------|--------|-------|------------|--------------|-----------------------------|------|------|--------------------------------|------|------|
|    |                             |               |   |            |                           |        | Enc                  | PC    | T      |        | Enc    | PC    |            |              | Enc                         | PC   | T    | Enc                            | PC   | T    |
| 1  | Rio Camburi/Cór. Duas Irmãs | Ubatuba       | 4 | Circular   | 0,45                      | 5,25   | 11,88                | 0,47  | 12,35  | 15,09  | 91,49  | 8,51  | 72,34      | 14,00        | 3,96                        | 8,56 | 3,81 | 2,44                           | 4,26 | 2,51 |
| 2  | Rio das Bicas               | Ubatuba       | 3 | Retangular | 0,27                      | 9,00   | 18,49                | 3,43  | 21,92  | 23,97  | 74,24  | 25,76 | 77,27      | 12,00        | 3,24                        | 4,96 | 3,01 | 1,83                           | 3,79 | 2,14 |
| 3  | Rio Fazenda-Fazendinha      | Ubatuba       | 4 | Retangular | 0,28                      | 11,00  | 28,81                | 4,89  | 33,70  | 30,82  | 86,11  | 13,89 | 77,78      | 11,00        | 3,68                        | 3,07 | 3,21 | 2,15                           | 3,07 | 2,29 |
| 4  | Rio Iriri-Ubatumirim-Onças  | Ubatuba       | 5 | Retangular | 0,61                      | 11,00  | 61,68                | 12,00 | 73,68  | 47,68  | 77,75  | 22,25 | 82,78      | 12,00        | 2,80                        | 3,33 | 2,44 | 1,68                           | 3    | 1,90 |
| 5  | Rio Puruba-Quiririm         | Ubatuba       | 5 | Retangular | 0,33                      | 22,50  | 140,98               | 25,07 | 166,06 | 68,47  | 89,52  | 10,48 | 84,76      | 11,00        | 3,63                        | 2,19 | 3,16 | 2,42                           | 1,88 | 2,34 |
| 6  | Rio Prumirim                | Ubatuba       | 4 | Retangular | 0,32                      | 7,00   | 14,72                | 0,72  | 15,44  | 18,58  | 86,8   | 13,2  | 75,47      | 8,00         | 3,53                        | 9,72 | 3,43 | 2,24                           | 6,9  | 2,46 |
| 7  | Rio Itamambuca              | Ubatuba       | 3 | Retangular | 0,27                      | 14,00  | 48,39                | 5,13  | 53,52  | 40,15  | 87,18  | 12,82 | 87,18      | 8,00         | 0,80                        | 0,97 | 0,72 | 0,55                           | 0,77 | 0,57 |
| 8  | Rio Perequê-Açú/Indaiá      | Ubatuba       | 4 | Retangular | 0,50                      | 9,00   | 33,42                | 7,43  | 40,85  | 37,50  | 76,47  | 23,53 | 70,59      | 13,00        | 0,95                        | 1,07 | 0,83 | 0,35                           | 1,34 | 0,53 |
| 9  | Rio Grande de Ubatuba       | Ubatuba       | 4 | Triangular | 0,35                      | 14,50  | 62,16                | 10,68 | 72,84  | 44,36  | 73,69  | 26,31 | 72,37      | 10,00        | 1,13                        | 1,87 | 1,04 | 0,53                           | 1,78 | 0,71 |
| 10 | Rio da Lagoa-Aracaraú       | Ubatuba       | 3 | Retangular | 0,56                      | 6,75   | 13,70                | 11,76 | 25,46  | 27,73  | 66,15  | 36,85 | 78,95      | 7,00         | 1,16                        | 0,59 | 0,74 | 0,36                           | 0,59 | 0,47 |
| 11 | Rio Comprido-Escuro         | Ubatuba       | 4 | Retangular | 0,95                      | 7,50   | 39,28                | 14,24 | 53,51  | 37,88  | 55     | 45    | 67,5       | 8,00         | 0,89                        | 1,28 | 0,75 | 0,22                           | 1,05 | 0,45 |
| 12 | Córrego da Lagoinha         | Ubatuba       | 3 | Retangular | 0,46                      | 5,75   | 10,90                | 4,30  | 15,20  | 17,99  | 61,29  | 38,71 | 83,87      | 8,00         | 2,75                        | 2,79 | 2,03 | 0,82                           | 3,48 | 1,31 |
| 13 | Rio Maranduba-Arariiba      | Ubatuba       | 4 | Retangular | 0,27                      | 12,50  | 33,44                | 9,18  | 42,62  | 33,79  | 88,57  | 11,43 | 77,14      | 13,00        | 1,97                        | 0,87 | 1,64 | 0,74                           | 2,28 | 1,07 |
| 14 | Rio Tabatinga               | Caraguatatuba | 3 | Quadrada   | 0,38                      | 6,25   | 4,60                 | 10,25 | 14,84  | 19,24  | 27,27  | 72,73 | 72,73      | 3,00         | 3,70                        | 1,56 | 1,48 | 0,65                           | 1,07 | 0,94 |
| 15 | Rio Mocoóca                 | Caraguatatuba | 4 | Retangular | 0,30                      | 11,50  | 35,03                | 5,08  | 40,10  | 32,69  | 90     | 10    | 81         | 10,00        | 2,74                        | 1,97 | 2,49 | 1,91                           | 1,58 | 1,87 |
| 16 | Córrego do Bacuí            | Caraguatatuba | 3 | Circular   | 0,64                      | 4,75   | 10,45                | 4,01  | 14,46  | 16,24  | 46,66  | 53,34 | 73,33      | 10,00        | 1,24                        | 2,00 | 1,04 | 0,09                           | 1,75 | 0,62 |
| 17 | Rio Massaguaçu              | Caraguatatuba | 4 | Quadrada   | 0,24                      | 9,25   | 13,67                | 6,84  | 20,51  | 21,81  | 56     | 44    | 72         | 11,00        | 1,81                        | 1,61 | 1,22 | 0,73                           | 1,02 | 0,83 |
| 18 | Rio Guaxinduba              | Caraguatatuba | 4 | Retangular | 0,11                      | 14,00  | 17,40                | 4,79  | 22,19  | 36,19  | 90,63  | 9,37  | 78,13      | 8,00         | 3,82                        | 1,25 | 2,88 | 2,35                           | 0,84 | 2,03 |
| 19 | Rio Sto Antônio             | Caraguatatuba | 4 | Quadrada   | 0,28                      | 12,25  | 34,76                | 7,30  | 42,07  | 36,36  | 89,33  | 10,67 | 76         | 10,00        | 2,13                        | 1,10 | 1,78 | 0,8                            | 1,1  | 1,24 |
| 20 | Ribeirão da Lagoa           | Caraguatatuba | 3 | Circular   | 0,79                      | 5,75   | 4,96                 | 21,30 | 26,25  | 20,76  | 15,79  | 84,21 | 78,95      | 15,00        | 2,22                        | 0,75 | 0,72 | 0                              | 0,61 | 0,50 |
| 21 | Rio Juqueriquerê            | Caraguatatuba | 7 | Triangular | 0,25                      | 39,50  | 328,31               | 62,80 | 391,11 | 137,40 | 94,87  | 5,13  | 76,2       | 10,00        | 2,58                        | 0,71 | 2,21 | 1,35                           | 0,95 | 1,29 |
| 22 | Rio São Francisco           | São Sebastião | 3 | Circular   | 1,44                      | 2,65   | 9,06                 | 1,08  | 10,14  | 17,52  | 84,21  | 15,79 | 91         | 12,00        | 2,09                        | 2,77 | 1,87 | 0,44                           | 2,77 | 0,69 |
| 23 | Centro de São Sebastião     | São Sebastião | 3 | Retangular | 1,87                      | 3,05   | 11,70                | 5,69  | 17,39  | 21,17  | 60,71  | 39,29 | 82         | 14,00        | 2,30                        | 1,93 | 1,61 | 0,68                           | 0,52 | 0,63 |
| 24 | Rio Guaecá                  | São Sebastião | 3 | Retangular | 0,85                      | 4,35   | 12,98                | 3,10  | 16,08  | 20,37  | 59,53  | 40,47 | 78,8       | 10,00        | 3,08                        | 5,48 | 2,61 | 1,07                           | 3,22 | 1,49 |
| 25 | Rio Perequê                 | Ilhabela      | 5 | Retangular | 0,77                      | 8,00   | 45,50                | 3,47  | 48,96  | 33,65  | 88,9   | 11,1  | 95,76      | 9,00         | 2,48                        | 3,75 | 2,41 | 1,53                           | 4,61 | 1,76 |
| 26 | Ribeirão do Engenho         | Ilhabela      | 4 | Triangular | 0,36                      | 7,25   | 18,01                | 0,87  | 18,88  | 20,97  | 99,97  | 0,03  | 97,8       | 9,00         | 2,44                        | 1,15 | 2,38 | 1,72                           | 1,15 | 1,70 |
| 27 | Rio Maresias                | São Sebastião | 4 | Retangular | 1,53                      | 4,70   | 29,24                | 4,57  | 33,81  | 30,54  | 77,42  | 22,58 | 71         | 9,00         | 0,99                        | 1,53 | 0,91 | 0,64                           | 0,87 | 0,68 |
| 28 | Rio Boiçucanga (Grande)     | São Sebastião | 4 | Retangular | 0,50                      | 8,10   | 29,86                | 2,78  | 32,64  | 37,13  | 83,93  | 16,07 | 83,9       | 8,00         | 1,84                        | 3,24 | 1,72 | 0,56                           | 2,88 | 0,76 |
| 29 | Rio Cambury                 | São Sebastião | 4 | Circular   | 0,65                      | 7,15   | 25,64                | 7,75  | 33,39  | 30,98  | 82     | 18    | 76         | 8,00         | 1,87                        | 1,16 | 1,50 | 0,03                           | 1,68 | 0,83 |
| 30 | Rio Sahy-Preto              | São Sebastião | 4 | Retangular | 0,76                      | 5,95   | 16,23                | 10,64 | 26,87  | 27,33  | 92,6   | 7,4   | 70,4       | 9,00         | 3,27                        | 0,38 | 2,01 | 1,23                           | 0,47 | 0,93 |
| 31 | Rio Juquehy                 | São Sebastião | 3 | Triangular | 0,56                      | 5,00   | 10,72                | 3,27  | 13,99  | 17,63  | 70,84  | 29,16 | 70,8       | 12,00        | 2,14                        | 2,14 | 1,72 | 0,83                           | 1,22 | 0,89 |
| 32 | Rio Una                     | São Sebastião | 5 | Retangular | 0,55                      | 15,00  | 91,07                | 32,22 | 123,29 | 53,31  | 93,56  | 6,44  | 78,2       | 9,00         | 3,49                        | 0,65 | 2,64 | 1,08                           | 1,02 | 1,07 |

Tabela 2. Suscetibilidade morfométrica das bacias do Litoral Norte de São Paulo (modificado de Souza, 2005)

| ID | Bacia                          | Município     | O | Fg | Kf | L | A   |    |   | P | Fc  |    | FcI | S | Dh  |    |   | Dc  |    |    | SOMA-TÓRIA | SM (B=22-28; M=29-35; A=36-42) |
|----|--------------------------------|---------------|---|----|----|---|-----|----|---|---|-----|----|-----|---|-----|----|---|-----|----|----|------------|--------------------------------|
|    |                                |               |   |    |    |   | Enc | PC | T |   | Enc | PC |     |   | Enc | PC | T | Enc | PC | T  |            |                                |
| 5  | Rio Puruba-Quiririm            | Ubatuba       | 2 | 1  | 1  | 3 | 3   | 3  | 3 | 3 | 1   | 2  | 2   | 3 | 1   | 3  | 3 | 2   | 3  | 42 | A          |                                |
| 4  | Rio Iriri-Ubatumirim-Onças     | Ubatuba       | 2 | 1  | 3  | 2 | 3   | 2  | 3 | 2 | 2   | 2  | 2   | 2 | 2   | 2  | 3 | 2   | 3  | 40 | A          |                                |
| 21 | Rio Juqueriquerê               | Caraguatatuba | 3 | 2  | 1  | 3 | 3   | 3  | 3 | 3 | 1   | 1  | 2   | 2 | 1   | 2  | 2 | 1   | 2  | 38 | A          |                                |
| 25 | Rio Perequê                    | Ilhabela      | 2 | 1  | 3  | 1 | 3   | 1  | 2 | 2 | 3   | 1  | 3   | 3 | 2   | 2  | 2 | 3   | 2  | 38 | A          |                                |
| 32 | Rio Una                        | São Sebastião | 2 | 1  | 2  | 2 | 3   | 3  | 3 | 3 | 3   | 1  | 2   | 3 | 1   | 2  | 2 | 1   | 1  | 38 | A          |                                |
| 1  | Rio Camburi/Córrego Duas Irmãs | Ubatuba       | 1 | 3  | 2  | 1 | 1   | 1  | 1 | 1 | 3   | 1  | 1   | 1 | 3   | 3  | 3 | 3   | 3  | 35 | M          |                                |
| 3  | Rio Fazenda-Fazendinha         | Ubatuba       | 1 | 1  | 1  | 2 | 2   | 1  | 2 | 1 | 3   | 1  | 1   | 2 | 3   | 2  | 3 | 3   | 2  | 34 | M          |                                |
| 6  | Rio Prumirim                   | Ubatuba       | 1 | 1  | 1  | 1 | 1   | 1  | 1 | 1 | 3   | 1  | 1   | 3 | 3   | 3  | 3 | 3   | 3  | 34 | M          |                                |
| 2  | Rio das Bicas                  | Ubatuba       | 1 | 1  | 1  | 1 | 1   | 1  | 1 | 1 | 2   | 2  | 1   | 2 | 3   | 3  | 3 | 3   | 3  | 33 | M          |                                |
| 24 | Rio Guaecá                     | São Sebastião | 1 | 2  | 3  | 1 | 1   | 1  | 1 | 1 | 3   | 2  | 2   | 3 | 3   | 2  | 2 | 2   | 2  | 33 | M          |                                |
| 12 | Córrego da Lagoinha            | Ubatuba       | 1 | 2  | 2  | 1 | 1   | 1  | 1 | 1 | 3   | 2  | 3   | 2 | 2   | 2  | 2 | 3   | 2  | 32 | M          |                                |
| 18 | Rio Guaxinduba                 | Caraguatatuba | 1 | 1  | 1  | 2 | 1   | 1  | 1 | 2 | 3   | 1  | 2   | 3 | 1   | 2  | 3 | 1   | 3  | 32 | M          |                                |
| 15 | Rio Mocoóca                    | Caraguatatuba | 1 | 1  | 1  | 2 | 2   | 1  | 2 | 1 | 3   | 1  | 2   | 2 | 1   | 2  | 3 | 1   | 3  | 31 | M          |                                |
| 26 | Ribeirão do Engenho            | Ilhabela      | 1 | 2  | 2  | 1 | 1   | 1  | 1 | 1 | 3   | 1  | 3   | 3 | 2   | 1  | 2 | 3   | 1  | 31 | M          |                                |
| 7  | Rio Itamambuca                 | Ubatuba       | 1 | 1  | 1  | 2 | 3   | 1  | 3 | 2 | 3   | 1  | 2   | 3 | 1   | 1  | 1 | 1   | 1  | 29 | M          |                                |
| 9  | Rio Grande de Ubatuba          | Ubatuba       | 1 | 2  | 2  | 2 | 3   | 1  | 3 | 2 | 2   | 2  | 1   | 2 | 1   | 1  | 1 | 1   | 1  | 29 | M          |                                |
| 11 | Rio Comprido-Escuro            | Ubatuba       | 1 | 1  | 3  | 1 | 2   | 2  | 3 | 2 | 1   | 3  | 1   | 3 | 1   | 1  | 1 | 1   | 1  | 29 | M          |                                |
| 19 | Rio Santo Antônio              | Caraguatatuba | 1 | 2  | 1  | 2 | 2   | 1  | 2 | 2 | 3   | 1  | 1   | 2 | 2   | 1  | 2 | 1   | 1  | 29 | M          |                                |
| 22 | Rio São Francisco              | São Sebastião | 1 | 1  | 3  | 1 | 1   | 1  | 1 | 1 | 3   | 1  | 3   | 2 | 2   | 2  | 2 | 1   | 2  | 29 | M          |                                |
| 28 | Rio Boiçucanga (Grande)        | São Sebastião | 1 | 1  | 2  | 1 | 2   | 1  | 2 | 2 | 3   | 1  | 2   | 3 | 1   | 2  | 1 | 1   | 2  | 29 | M          |                                |
| 29 | Rio Cambury                    | São Sebastião | 1 | 3  | 3  | 1 | 2   | 1  | 2 | 1 | 3   | 1  | 1   | 3 | 2   | 1  | 1 | 1   | 1  | 29 | M          |                                |
| 30 | Rio Sahy-Preto                 | São Sebastião | 1 | 1  | 3  | 1 | 1   | 1  | 1 | 1 | 3   | 1  | 1   | 3 | 3   | 1  | 2 | 2   | 1  | 28 | B          |                                |
| 20 | Ribeirão da Lagoa              | Caraguatatuba | 1 | 3  | 3  | 1 | 1   | 2  | 1 | 1 | 1   | 3  | 2   | 1 | 2   | 1  | 1 | 1   | 1  | 27 | B          |                                |
| 27 | Rio Maresias                   | São Sebastião | 1 | 2  | 3  | 1 | 2   | 1  | 2 | 1 | 2   | 2  | 1   | 3 | 1   | 1  | 1 | 1   | 1  | 27 | B          |                                |
| 10 | Rio da Lagoa-Acaraú            | Ubatuba       | 1 | 2  | 2  | 1 | 1   | 2  | 1 | 1 | 2   | 2  | 2   | 3 | 1   | 1  | 1 | 1   | 1  | 26 | B          |                                |
| 13 | Rio Maranduba-Arariba          | Ubatuba       | 1 | 1  | 1  | 2 | 2   | 1  | 2 | 2 | 3   | 1  | 1   | 1 | 2   | 1  | 1 | 1   | 2  | 26 | B          |                                |
| 14 | Rio Tabatinga                  | Caraguatatuba | 1 | 2  | 2  | 1 | 1   | 1  | 1 | 1 | 1   | 3  | 1   | 3 | 3   | 1  | 1 | 1   | 1  | 26 | B          |                                |
| 16 | Córrego do Bacuí               | Caraguatatuba | 1 | 3  | 3  | 1 | 1   | 1  | 1 | 1 | 1   | 3  | 1   | 2 | 1   | 1  | 1 | 1   | 1  | 25 | B          |                                |
| 8  | Rio Perequê-Açú/Indaiá         | Ubatuba       | 1 | 1  | 2  | 1 | 2   | 1  | 2 | 2 | 2   | 2  | 1   | 1 | 1   | 1  | 1 | 1   | 1  | 24 | B          |                                |
| 23 | Centro de São Sebastião        | São Sebastião | 1 | 1  | 3  | 1 | 1   | 1  | 1 | 1 | 1   | 3  | 2   | 1 | 2   | 1  | 1 | 1   | 1  | 24 | B          |                                |
| 31 | Rio Juquehy                    | São Sebastião | 1 | 2  | 2  | 1 | 1   | 1  | 1 | 1 | 2   | 2  | 1   | 2 | 2   | 1  | 1 | 1   | 1  | 24 | B          |                                |
| 17 | Rio Massaguaçu                 | Caraguatatuba | 1 | 2  | 1  | 1 | 1   | 1  | 1 | 1 | 1   | 3  | 1   | 2 | 1   | 1  | 1 | 1   | 1  | 22 | B          |                                |

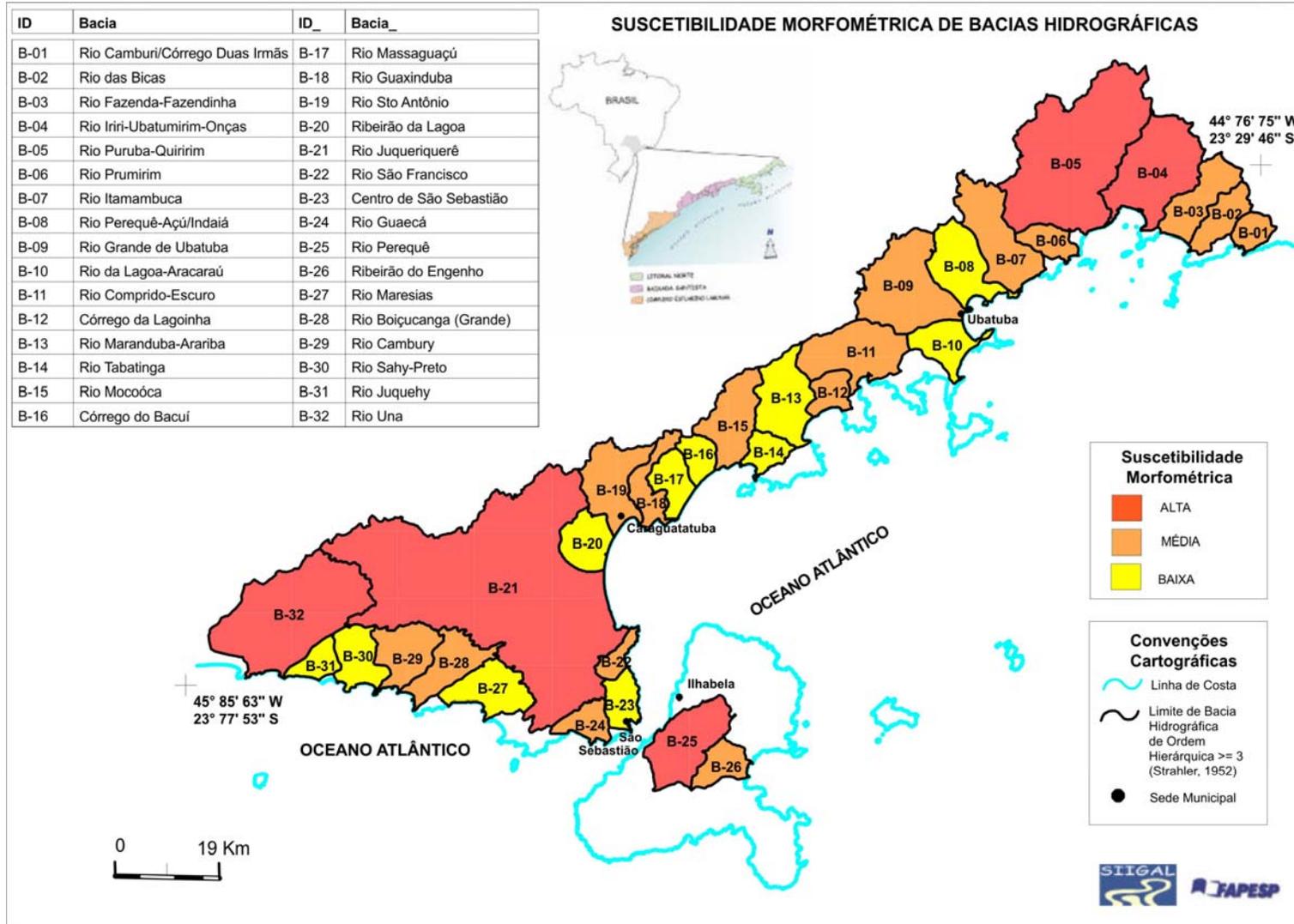


Figura 2. Mapa de Suscetibilidade Morfométrica das Bacias de Drenagem do Litoral Norte paulista

Analisando os resultados das tabelas 1 e 2, conclui-se que 14 parâmetros controlam mais as variações de suscetibilidade morfométrica nas bacias analisadas, a saber: **densidade hidrográfica** ( $DhT$ ,  $DhEnc$  e  $DhPC$ ), **densidade de confluências** ( $DcT$ ,  $DcEnc$  e  $DcPC$ ), **declividade média do canal principal** ( $S$ ), **freqüência de canais de 1ª ordem** ( $FcI$ ), **freqüência de canais totais** ( $FcEnc$  e  $FcPC$ ) e o **tamanho das bacias** (**ordem** –  $O$ ; **área** -  $A$ , **perímetro** –  $P$  e **comprimento do canal principal** -  $L$ ). Essas tendências coadunam com as esperadas de acordo com a literatura.

A bacia com maior número de pontos é a do Rio Puruba-Quiririm (42 pontos). Nota-se que, embora a forma e o fator forma tenham sido reconhecidos na literatura como bons indicadores de potencial de escoamento das águas no interior da bacia, a bacia do Rio Puruba-Quiririm obteve 1 ponto para ambos os quesitos. Da mesma forma, para a freqüência de canais na planície costeira e a densidade hidrográfica na planície costeira os pontos obtidos também foram 1 para cada parâmetro. Para os demais parâmetros morfométricos, os pontos foram 3 (a maioria) e 2. A menor pontuação total foi obtida para a bacia do Rio Massaguaçu (22 pontos), para a qual a forma levou 2 pontos e o fator forma 1 ponto. Por outro lado, a freqüência de canais na planície costeira obteve 3 pontos, embora praticamente todos os demais parâmetros morfométricos tenham obtido 1 ponto cada.

## CONCLUSÕES

A classificação da Suscetibilidade Morfométrica de bacias de drenagem ao desenvolvimento de inundações permite uma avaliação rápida e integrada sobre a atuação complexa de um conjunto de inúmeros fatores geométricos que se interrelacionam e controlam o comportamento hidrológico da bacia de drenagem. Ela constitui uma importante ferramenta na análise de risco a esses perigos hidrometeorológicos, principalmente em áreas onde dados hidrológicos não estão disponíveis.

A suscetibilidade morfométrica poderá ser utilizada como um dos atributos nos métodos de regionalização de bacias sujeitas a enchentes e inundações, bastante utilizado por hidrólogos para bacias onde não estão disponíveis dados hidrológicos.

## REFERÊNCIAS

CHORLEY, R.J. 1957. Climate and Morphometry. *Journal of Geology*, 65: 628-639.

- CHORLEY, R.J.; MALM, D.E.G. & POGORZELSKI, H.A. 1957. A new standard for estimating basin shape. *American Journal of Science*, v. 255, p. 138-141.
- COOKE, R.U. & DOORNKAMP J.C. 1990. Drainage Basins and Sediment Transfer. In: *Geomorphology in Environmental Management. A New Introduction*. Clarendon Press, 2<sup>nd</sup> edition. 409p.
- HORTON, R.E. 1945. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geological Society America Bulletin*, 56(3): 275-370.
- IG-SMA. INSTITUTO GEOLÓGICO-SMA. 1996. Carta de Risco a Movimentos de Massa e Inundação do Município de São Sebastião. Instituto Geológico-SMA/Prefeitura Municipal de São Sebastião. 77 p. e Anexos (15 mapas).
- MORISAWA, M.E. 1962. Quantitative Geomorphology of Some Watersheds in the Appalachian Plateau. *Geological Society of America Bulletin*, 73: 1025-1046.
- PATTON, P.C. 1988. Drainage Basin Morphometry and Floods. In: BAKER, V.R. *et al.* (eds.). *Flood Geomorphology*. John Wiley & Sons. p. 51-64.
- PATTON, P.C. & BAKER, V.R. 1976. Morphometry and floods in small drainage basins subject to diverse hydrogeomorphic controls. *Water Resources Research*, 12(5): 941-952.
- SANT'ANNA NETO, J.L.; SOUZA, C.R DE G. & TAVARES, R. 2003. Dinâmica climática, variabilidade pluvial e o risco à erosão costeira no Estado de São Paulo, Brasil. In: Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário (ABEQUA), IX, Recife (PE), 12-19/outubro/2003. Anais, CD-ROM (trabalho completo).
- SOUZA, C.R. DE G. 1998. Flooding in the São Sebastião region, northern coast of São Paulo State, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro, 70(2): 354-366.
- SOUZA, C.R. de G. 2004. Risco a inundações, enchentes e alagamentos em regiões costeiras. In: Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais - SIBRADEN, I, Florianópolis (SC), 27-30/09/2004, GEDN/UFSC. Anais,... p. 231-247 (CD-ROM – trabalho completo).
- SOUZA, C.R. de G. 2005a. SOUZA, C.R. de G. 2005. Suscetibilidade morfométrica de bacias de drenagem ao desenvolvimento de inundações em áreas costeiras. In: *Revista Brasileira de Geomorfologia*, Ano 6, nº 1 (março), p. 45-62.
- SOUZA, C.R. de G. 2005b. SOUZA, C.R. de G. 2005. Um sistema geográfico de informações para o litoral de São Paulo. In: Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, XI, 05-09/09/05, São Paulo (SP), DG-USP, AGB, UGB, ABClima. CD-ROM (trabalho completo).
- STRAHLER, A.N. 1952. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Geological Society America Bulletin*, 63: 1119-1142.
- STRAHLER, A.N. 1964. Quantitative Geomorphology of Drainage Basins and Channel Network. In: CHOW, V.T. (ed.). *Handbook of Applied Hydrology*. McGraw-Hill. p. 4-40 – 4-74.
- VARNES, D.J. 1984. *Landslide Hazard Zonation: Review of Principles and Practice*. UNESCO Press, Paris. 56 p.
- ZĂVOIANU, I. 1985. Morphometry of Drainage Basins. *Developments in Water Science*, v. 20. 2<sup>nd</sup> Edition. Elsevier. 250 p.