

# AVALIAÇÃO DO IMPACTO HUMANO DA URBANIZAÇÃO EM SISTEMAS HIDRO-GEOMORFOLÓGICOS. DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DE METODOLOGIA NA GRANDE SÃO PAULO

Cleide Rodrigues<sup>1</sup>

**Resumo:** Estudos voltados a sistemas hidro-geomorfológicos como o de bacias hidrográficas urbanas com diferentes graus e padrões de intervenção antrópica, vem sendo realizados para a Grande São Paulo de forma a aplicar procedimentos metodológicos propostos em RODRIGUES (1990, 1997, 1999, 2004 e 2005). Partindo-se de princípios selecionados de amplas revisões teórico-metodológicas nas áreas de Geografia Física e Geomorfologia, esses estudos vêm demonstrando a aplicabilidade da *antropogeomorfologia* e da *cartografia geomorfológica retrospectiva* para identificação e aplicação de indicadores e parâmetros de avaliação dos efeitos das intervenções antrópicas nesses sistemas. Também têm evidenciado a necessidade de se considerar, simultaneamente, dois tipos de abordagem: as abordagens históricas em Geomorfologia integradas a parâmetros quantitativos, esses dependentes de séries históricas de dados padronizáveis e, por vezes, obtidos apenas em pesquisas arquivísticas. Propõe-se um quadro de indicadores potenciais para as referidas avaliações, em que se articulam esses indicadores a sistemas hidro-geomorfológicos afetados e à natureza da mudança, demonstrando-se correlações relevantes. A aplicação dessa metodologia e dos indicadores por ela identificados têm evidenciado que ao longo do último século, a intervenção antrópica acumulada em sistemas hidro-geomorfológicos da Região Metropolitana de São Paulo vem gerando eventos cuja magnitude e frequência apresentam valores semelhantes às de eventos naturais anômalos ou extremos. Por outro lado, a abordagem também tem permitido relacionar as intervenções e seus efeitos a importantes atores sociais no processo histórico de produção do espaço urbano, colaborando com gestão pública territorial e ambiental.

**Palavras-chave:** Geomorfologia Aplicada; Avaliação do Impacto Humano; Região Metropolitana de São Paulo, Geomorfologia Fluvial; Geoindicadores; Cartografia Geomorfológica; Geomorfologia Urbana; Paisagem Urbana.

## Introdução

Avaliações do impacto humano em sistemas geomorfológicos foram disseminadas desde a promulgação, em diversos países, de legislação ambiental específica, voltada a diversos tipos de intervenções antrópicas e envolvendo estudos ambientais e relatórios de impacto ambiental. No Brasil, contudo, esses estudos de impacto ambiental (EIAs) e respectivos Relatórios de Impacto Ambiental (RIMAs), não vêm se apropriando de parte relevante dos recursos teórico-metodológicos existentes na Geografia Física Teórica e, em especial, na Geomorfologia, criando dificuldades para o bom trânsito entre a produção de conhecimento no âmbito acadêmico e a produção de conhecimento no plano das práticas de avaliação de impacto e gestão ambiental (RODRIGUES, 1997).

Associando experiências de avaliação de impacto ambiental de hidrelétricas em diversas regiões do Brasil, experiências

de avaliação dos efeitos da urbanização na região de São Paulo a revisões teórico-metodológicas em Geografia Física e Geomorfologia, foi possível testar e, progressivamente, desenvolver proposta metodológica para avaliação qualitativa e quantitativa de mudanças antrópicas em sistemas hidro-geomorfológicos, principalmente para o meio tropical úmido.

Essa proposta metodológica, respaldada, portanto, em pesquisa teórica e aplicada, foi sendo divulgada na medida em que os testes foram realizados e os procedimentos validados. Desenhada inicialmente em LIMA (1990), desenvolve-se em RODRIGUES (1997, 1999, 2005a, 2005b) e é parcialmente apresentada em RODRIGUES (2004) e em RODRIGUES e COLTRINARI (2005). Caracteriza-se fundamentalmente pela seleção e proposição de:

---

<sup>1</sup> Professora Doutora do Departamento de Geografia da Universidade de São Paulo (cleidrig@usp.br).

- princípios e procedimentos selecionados da *Geografia Física e Geomorfologia* teóricas;
- princípios da *Geomorfologia antropogênica*;
- *escalas temporais e espaciais complementares* de análise;
- procedimentos cartográficos apoiados na *cartografia geomorfológica*;
- *conteúdos* de legenda representativos de *fases e de modalidades de intervenção* ou perturbação antrópica;
- *conteúdos* de legenda representativos para *processos hidromorfodinâmicos* (modalidades de processos erosivos, de sedimentação e de transporte);
- *indicadores e parâmetros* da morfologia *pré-intervenção e da morfologia antropogênica*;
- indicadores, parâmetros e medidas de condições físicas dos *materiais originais e antropogênicos da superfície*;
- indicadores, parâmetros e medidas dos *processos superficiais originais e derivados* direta e indiretamente de ações antrópicas; e,
- *correlação* de indicadores de mudanças.

Esses princípios selecionados apresentam estreita vinculação com a utilização da teoria dos sistemas em geomorfologia e outras abordagens integradas, percorrendo obras clássicas como a de CHORLEY e KENNEDY (1971), *Physical Geography a systems approach*, TRICART (1965), *Principes et Méthodes de la Géomorphologie*, TRICART e KILLIAN (1979), *L'éco-geographie et l'aménagement du milieu naturel*, e obras de autores contemporâneos que utilizam essas referências em estudos mais especializados, conforme explicitado em RODRIGUES (1997).

Aplicações e testes dos princípios e procedimentos selecionados dessas obras também foram realizados por outros pesquisadores, a exemplo de CARMO (1997), BATISTA (2003), CARVALHO (2001 e 2005), ALAMEDINNE (2005), SILVA (2005) dentre outros, além de RODRIGUES (2004 e 2005).

Dentre os principais resultados da aplicação e desenvolvimento dessa metodologia destacam-se:

- a produção de mapas geomorfológicos retrospectivos e evolutivos, com conteúdos tradicionais da geomorfologia e conteúdos e indicadores da antropogeomorfologia para diversas escalas de abordagem.
- a proposição e a sistematização de quadro de indicadores para avaliação de mudanças, efeitos e impactos da urbanização no meio tropical úmido articulado aos sistemas mencionados.

- avaliação de impactos da urbanização em sistemas hidro-geomorfológicos em diversas escalas e para diversos recortes espaciais e temporais.

- a comprovação da relevância da abordagem geomorfológica e da emergente *antropogeomorfologia* para a identificação e mensuração do impacto humano no meio físico.

No estudo ora apresentado pretende-se apresentar parte dos resultados que validam a aplicação dessa proposta metodológica demonstrando, por meio de exemplos, como é possível realizar avaliações objetivas de impactos ou efeitos que o extenso e duradouro processo de intervenção antrópica da urbanização de São Paulo produziu ao longo dos últimos cem anos em sistemas hidro-geomorfológicos<sup>2</sup>.

## Metodologia

Foram fundamentais os seguintes procedimentos para a construção metodológica e proposição do quadro de indicadores:

1. Pesquisa bibliográfica voltada aos campos da geografia física teórica, da geomorfologia pura e aplicada, da cartografia geomorfológica e de documentos técnicos (EIAs, RIMAs e outros instrumentos de planejamento físico-territoriais urbanos).

2. Realização de mais de duas dezenas de mapeamentos-teste retrospectivos e evolutivos em diversas bacias hidrográficas, em diferentes e complementares escalas e para diferentes fases de urbanização na Grande São Paulo (Guavirutuba, Jaceguay, Pirajussara, Rio Grande da Serra, Rios das Pedras, Bairro do Jusa, Diadema, Pinheiros, Embu-Mirim, Tamandateí e Alto Tietê).

3. Pesquisa documental de relatórios técnicos de projetos de engenharia realizados na Grande São Paulo e pesquisa iconográfica direcionada à cartografia de base, cartografia temática e a levantamentos aerofotográficos da mesma região (acervos do extinto IGEOG USP - Instituto de Geografia da Universidade de São Paulo, da FPHESP - Fundação Patrimônio Histórico da Energia e Saneamento, do IGC - Instituto Geográfico e Cartográfico da Secretaria de Planejamento do Estado de São Paulo, da PMSP - Prefeitura Municipal de São Paulo, do DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica, da empresa de engenharia Maubertech S.A. e da EMAE - Empresa Metropolitana de Águas e Energia S.A., dentre outros órgãos e empresas).

4. Pesquisa, aplicação e correlação de alguns indicadores da *morfologia original e antropogênica*, dos *processos hidro-geomorfológicos originais e antropogênicos* e dos *materiais superficiais originais ou antropogênicos*.

<sup>2</sup> São aqui considerados como sistemas hidrogeomorfológicos: canais fluviais, planícies de inundação, vertentes, bacias hidrográficas e sistemas lacustres.

## Resultados

Nesse texto são apresentados apenas alguns exemplos dos resultados da aplicação da metodologia, a fim de demonstrar seu potencial para avaliação e quantificação das mudanças e sua viabilidade de execução. Assim, apresentam-se: exemplos da produção cartográfica, de resultados de alguns indicadores testados e o quadro dos indicadores. Esse último apresenta indicadores significativos para áreas urbanizadas do meio tropical úmido, para escalas regionais, escalas de detalhe e para intervalos temporais de aproximadamente cem anos.

### Alguns resultados da produção cartográfica

Um dos principais testes de aplicação da metodologia proposta, essencial para a viabilização de pesquisas futuras na linha das mudanças de origem antrópica, foi o da sistematização cartográfica em escala regional para diversas fases da urbanização metropolitana e sua correlação com as unidades hidro-geomorfológicas originais. Esse teste foi necessário tendo em vista que as pesquisas anteriores foram desenvolvidas apenas em escalas de maior detalhe, compatíveis para a abordagem de sistemas hidro-geomorfológicos como os de bacias hidrográficas de 3ª ordem e vertentes (LIMA, 1982; RODRIGUES, 1997). Assim, para a escala regional ou metropolitana, os conteúdos a serem correlacionados para a leitura sobre as mudanças não haviam sido testados. Nesse teste foram geradas sistematizações cartográficas, assim denominadas porque não foram produzidas a partir de novos dados primários, mas a partir da fusão de outras cartas anteriormente publicadas, correlacionadas a dados de campo e a imagens de satélite.

Indispensável para as leituras sobre mudanças, a sistematização cartográfica da morfologia original em escala 1:250.000 foi obtida a partir das cartas geomorfológicas parciais de AB'SABER (1957) em 1:50.000, de ALMEIDA (1959) em 1:50.000 e da cartografia da Região Metropolitana realizada pelo BRASIL/ESP/EMPLASA (1990) em 1:500.000, além de trabalho de campo. Essa nova sistematização da morfologia original da região metropolitana foi idealizada por essa autora e elaborada por BATISTA (2003). O mapa resultante foi divulgado originalmente em BATISTA (2003), em um contexto ainda pouco em relação à justificativa metodológica e interpretativa que o originou.

A **Figura 1** apresenta esse mapa produzido e os conteúdos de legenda discriminados: planícies de inundação originais; terraços fluviais originais; traçado original dos cursos fluviais principais; sistema original do espigão; morrotes em embasamento cristalino;

colinas em embasamento sedimentar; escarpas da Serra do Mar e os morros do Planalto Paulistano em embasamento cristalino pré-cambriano. A partir dessa carta foi possível obter a comprovação de que os conteúdos selecionados para avaliação de mudanças na escala regional são significativos e discerníveis na escala, permitindo correlações significativas com a morfologia antropogênica. O teste de correlações espaciais dos conteúdos cartografados está sintetizado na **Tabela 1**, que representa e contabiliza os conteúdos da cartografia geomorfológica retrospectiva de média escala. Essas avaliações foram possíveis graças aos mapas elaborados por RODRIGUES e BATISTA (apud RODRIGUES, 2004), que tratam tanto da morfologia original, a exemplo da Figura 1, quanto da morfologia antropogênica, de três diferentes fases do processo de expansão urbana.

Uma das possíveis leituras de mudanças que se pode obter por meio da cartografia da morfologia original e antropogênica, conforme se observa no mapa da Figura 1 e na Tabela 1, é a leitura da supressão, ao longo do tempo, dos sistemas e unidades hidro-geomorfológicas discerníveis nessa escala. Por meio dessa tabela foi possível, por exemplo, verificar os períodos em que a urbanização transgride os sistemas geomorfológicos de forma mais significativa, levando-se em consideração os indicadores de área da morfologia original e da morfologia antropogênica. Fica evidente, por exemplo, que as planícies de inundação originais começam a apresentar taxas significativas de supressão por ocupação urbana a partir principalmente da década de 1960, chegando a aproximadamente 40% em 1997. As colinas sedimentares e terraços fluviais, áreas centrais da Bacia hidrográfica do Alto Tietê, já apresentam taxas de supressão de aproximadamente 50% também a partir do início dessa década.

Apesar desses dados exemplificarem apenas indicadores e parâmetros *morfológicos*, fica evidente seu potencial de correlação a dados de outra monta, como os dados de *processos*, a exemplo dos dados de vazão de pico ou de taxas de transporte (carga sedimentar suspensa). Uma análise preliminar apontou para um aumento, no período, de mais de 300% na magnitude desses eventos fluviais extremos nos cursos fluviais de maior ordem. A variabilidade da magnitude de eventos extremos será correlacionada à variabilidade das taxas de ocupação urbana, agregadas ou discriminadas por padrão de urbanização ao longo do intervalo temporal adotado, considerando as sub-bacias hidrográficas da BAT (Bacia Hidrográfica do Alto Tietê).

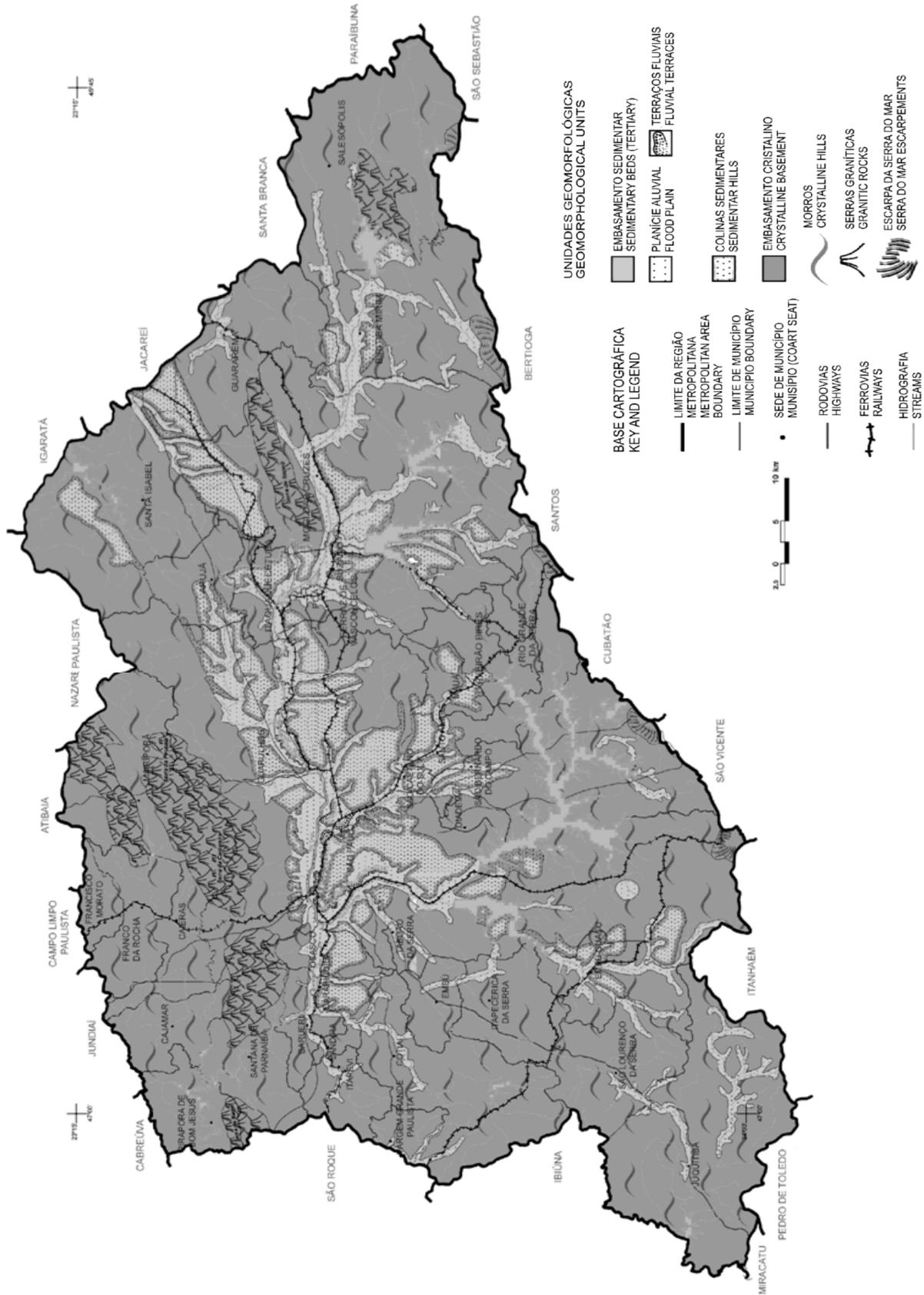


Figura 1 Sistematização cartográfica da morfologia original da Grande São Paulo (esc. org. 1:250000). Fonte: RODRIGUES e BATTISTA (2003).

Tabela 1 Morfologia original e sequência de intervenções urbanas na metrópole paulista. Fonte: RODRIGUES (2004).

UNIDADES MORFOLÓGICAS ORIGINAIS	EMBASAMENTO SEDIMENTAR				EMBASAMENTO CRISTALINO					TOTAL		
	PLANÍCIES DE INUNDAÇÃO		TERRAÇOS FLUVIAIS E COLINAS SEDIMENTARES		MORROS		SERRAS		ESCARPAS			
	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%
ATÉ 1929	20,6	2,4	71,9	7,4	1,6	0,1	0,00	0,00	0,00	0,00	94,1	1,2
DE 1929 - 1962	211,2	24,2	417,9	42,7	328,3	5,9	6,7	1,4	0,41	0,77	964,6	12,9
DE 1963 - 1997	121,7	13,9	155,9	15,9	872,4	15,7	90,1	18,5	0,00	0,01	1084,2	14,5
ÁREA TOTAL DE INTERVENÇÃO URBANA EM 1997	353,5	40,5	645,7	66%	1202,3	21,7	96,8	19,9	0,41	0,78	2142,9	28,6
ÁREA TOTAL DAS UNIDADES	871,7	100,0	977,3	100,0	5580,8	100,0	487,5	100,0	53,5	100,00	7453,5	100,00

Os indicadores, leituras e interpretações potenciais aqui demonstrados têm sido objeto de estudos em escalas complementares e em diferentes níveis de agregação e discriminação, pois correlações semelhantes, noutra ordem escalar espacial, revelam conteúdos da morfologia antropogênica não discerníveis na escala regional. Como exemplo, foi estudada a bacia hidrográfica do Ribeirão Guavirutuba, na margem esquerda do reservatório de Guarapiranga, em três escalas complementares. Para um período de aproximadamente 30 anos, foram realizados estudos nas escalas 1:10.000 e 1:25.000 (LIMA, 1990) e, para um período de aproximadamente cem anos, realizaram-se estudos na escala 1:5.000 (SILVA, 2005).

As mudanças observáveis e mensuráveis com a utilização desses procedimentos, indicadores e parâmetros podem também revelar a importância relativa de atores sociais em diferentes fases da produção do espaço urbano e em diferentes fases da gestão territorial municipal ou metropolitana.

### Alguns resultados quantitativos sobre Processos Superficiais

Como exemplo de estudos que aplicaram os procedimentos relatados, obtendo resultados significativos para indicadores de taxas de processos superficiais e indicadores para monitoramento das condições físicas da superfície, podem ser citados os estudos de LIMA (1990) e SILVA (2005). Ambos dedicaram-se à bacia hidrográfica do Ribeirão Guavirutuba, uma bacia de 3ª ordem contribuinte da margem esquerda do reservatório de Guarapiranga, no Município de São Paulo - SP. O primeiro deles propôs, dentre

outras sugestões, que se identificassem e se considerassem diversos padrões físicos de apropriação urbana de forma associada aos padrões da morfologia original, resultando em padrões morfológicos complexos. Esses padrões urbanos complexos seriam o resultado físico da interação de determinados fatores físico-naturais e fatores sócio-econômicos da apropriação urbana. Sugere-se que as taxas e balanços de processos superficiais apresentem significativa correlação com esses padrões morfológicos, agora denominados *complexos*, pois combinam a morfologia original à morfologia antropogênica na definição de unidades espaciais (RODRIGUES, 2005). Afirma-se, por exemplo, que os processos erosivos, dentre os quais estão os movimentos de massa e o escoamento superficial concentrado, foram mais frequentes e intensos no período estudado (1962 a 1987) nas combinações morfológicas complexas de loteamentos de classe pobre, em vertentes com padrões morfológicos originais de morrotes e na fase intermediária entre a implementação do loteamento e sua consolidação.

SILVA (2005) realizou estudo comparativo utilizando-se da proposta metodológica de RODRIGUES (2004), no qual considera cartograficamente a evolução morfológica de dois sistemas de remansos<sup>3</sup> e a evolução dos padrões de urbanização e de uso da terra suas respectivas bacias hidrográficas nas escalas espaciais 1:10.000 e 1:5.000 e para um período aproximado de cem anos. Utilizando-se de parte da pesquisa documental de RODRIGUES (2001) e de técnicas de restituição cartográfica digital para a realização da cartografia geomorfológica retrospectiva, identificou

<sup>3</sup> Áreas rasas, na retaguarda de reservatórios, em geral apresentando dinâmicas superficial variável entre lacustre, fluvio-lacustre e fluvial de canal e de planície de inundação.

e interpretou a evolução morfológica desses remansos para seis diferentes momentos de urbanização ao longo desse período. Como parte substancial dos resultados dessa pesquisa destaca-se a confirmação da importância do *padrão morfológico complexo* destacado em LIMA (1990), que deve ser considerado um dos principais padrões em termos de área-fonte de sedimentos em bacias hidrográficas urbanas na região metropolitana. Confirmou-se, portanto, a necessidade de se considerarem os *padrões morfológicos complexos* com suas diferentes fases de consolidação como conteúdos relevantes de mapeamentos e de indicadores em estudos dedicados a esse tipo de avaliação, especialmente para áreas urbanizadas no meio tropical úmido.

Nesse mesmo estudo de caso, SILVA (2005) comparou taxas de assoreamento e colmatagem dos remansos de duas bacias hidrográficas, morfológica e estruturalmente similares, contribuintes do reservatório de Guarapiranga, com diferentes graus e padrões de ocupação urbana e para um período de cem anos.

Foram identificadas taxas de assoreamento e colmatagem sete vezes maiores para o remanso da bacia do Ribeirão Guavirutuba (maiores taxas de urbanização) comparativamente às taxas de evolução do remanso da bacia hidrográfica do Ribeirão Jaceguay (Fig. 2). Verificou-se a validade da utilização de remansos de reservatórios como sistema hidro-geomorfológico dessas avaliações e mensurações.

Esse é um dos exemplos da aplicabilidade da proposta metodológica quanto à identificação da magnitude das mudanças impostas pela urbanização, no caso, revelada pelas taxas de processos erosivos e de sedimentação. Isolando-se os parâmetros e indicadores de sistemas hidro-geomorfológicos comparáveis, obteve-se resposta significativa dos efeitos da urbanização em taxas e balanços desses processos superficiais. Esse estudo também apresenta potencial para avaliação quantitativa dos efeitos que diferentes padrões de urbanização e morfologias complexas podem gerar.

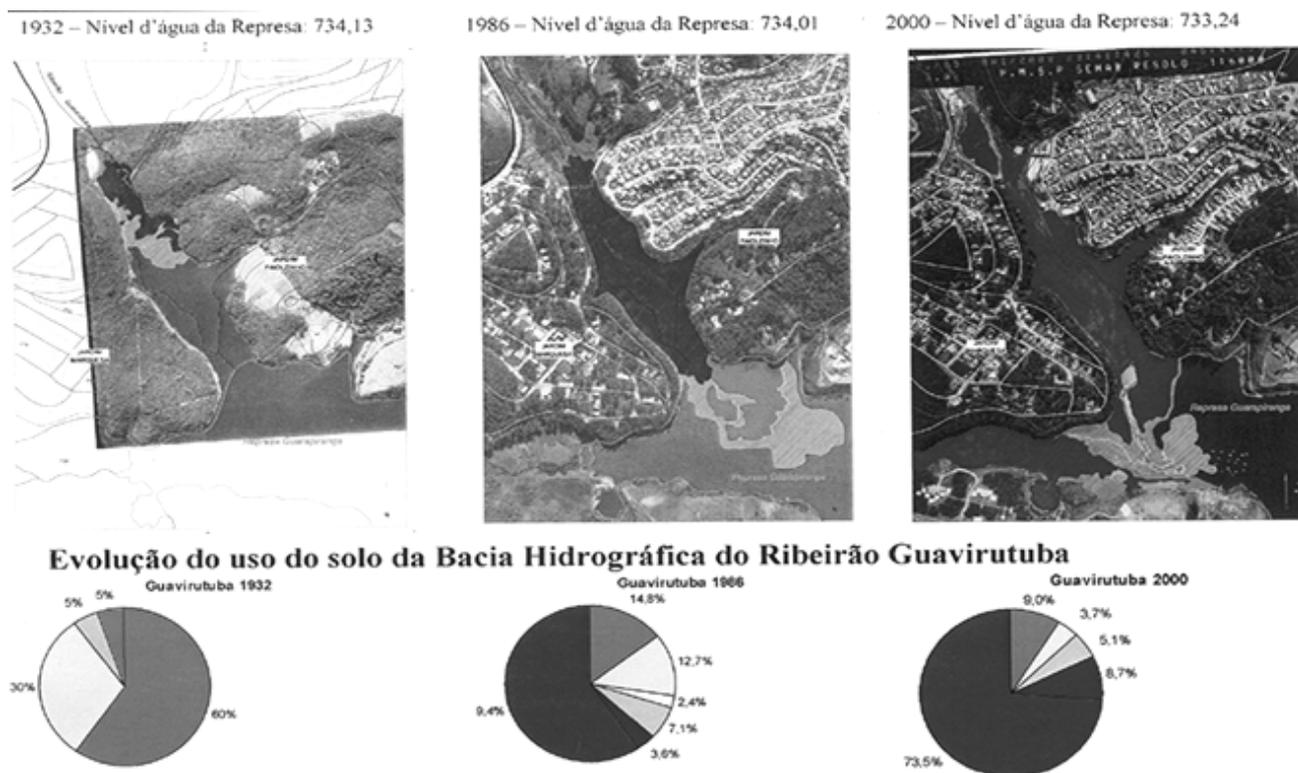
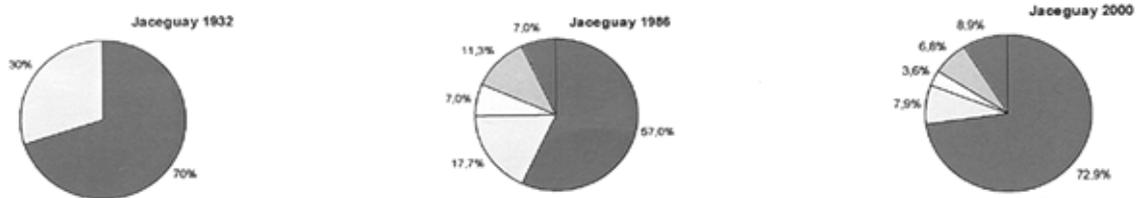


Figura 2 Correlações das áreas urbanizadas e crescimento do assoreamento (colmatagem) nos remansos da bacia hidrográfica Guavirutuba e Jaceguay. Adaptado de Silva (2005). Escala original 1:10000 e 1:5000.

(Cont.) Figura 2



**Evolução do uso do solo da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Jaceguay**



**Legenda - Key**

**Convenções Cartográficas**

	Rio (base cartográfica)		Curva de nível
	Rio (base aerofotogramétrica)		Ponto cotado
	Represa (base cartográfica)		Arruamento
	Represa (base aerofotogramétrica)		Estrada

**Evidências de processos**

Unidade morfológica Morphological unit	Dinâmica Morphodynamic	Níveis de colmatagem Siltation patterns
Planície fluvial	Fluvial	Colmatagem completa
Planície flúvio-lacustre	Flúvio-lacustre	2º nível de colmatagem
Lago	Dinâmica lacustre com avanço de plumas de sedimentação	1º nível de colmatagem
Base de vertente	Vertente-lacustre	sem ocorrência

**Legenda dos gráficos de Evolução do Uso do Solo**

- Mata secundária**  
Regenerated forest
- Predomínio de gramíneas**  
Grass
- Solo exposto**  
Exposed soil
- Urbanização de baixa densidade**  
Low density urbanization
- Urbanização de média densidade**  
Average density urbanization
- Urbanização de alta densidade**  
High density urbanization
- Loteamento**  
Settlement
- Agricultura**  
Agriculture

A pesquisa de CARVALHO (2005), voltada para a verificação da viabilidade do resgate de informações históricas sobre indicadores de mudanças, resultou em amplas listas ou instrumentos de pesquisa, organizados por tipo de indicador hidro-geomorfológico. Viabilizou a correlação espacial de indicador morfométrico “*seção transversal do canal principal da Bacia do Alto Tietê*” e, obtendo êxito em sua justaposição espacial, comparou-se a área da seção transversal do canal na região da ponte das Bandeiras em dois momentos, com intervalo temporal de aproximadamente cem anos: 1894 e 2004<sup>4</sup>. Avaliando-se as duas áreas, é possível afirmar que os valores do indicador *área da seção transversal* aumentou artificialmente perto de 350% para poder abrigar as *vazões extremas* que, segundo análises preliminares de de RODRIGUES (2005), também sofreram um aumento de aproximadamente 300%. Esses indicadores permitirão correlações importantes com as taxas de impermeabilização das diversas sub-bacias hidrográficas da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê, dados esses que estão sendo gerados em novas pesquisas.

#### **Sistematizando-se a metodologia: os indicadores**

Para exemplificar os resultados metodológicos que vêm sendo gerados com essas pesquisas, apresenta-se uma das partes mais relevantes, o quadro dos *indicadores*, divulgado em sua primeira versão por ocasião do 32nd International Geological Congress de 2004 (RODRIGUES & COLTRINARI 2004). Após essa versão, o quadro sofreu modificações e complementações. Consiste na seleção e organização de parâmetros para avaliação de mudanças ambientais e efeitos da intervenção urbana em sistemas hidro-geomorfológicos. Para sua formulação foram cheçadas

as viabilidades técnicas de aplicação e de obtenção de dados, inclusive por pesquisas arquivísticas. Apesar de ser referência para avaliações dos efeitos da urbanização de forma geral, foi formulado especialmente para a região Metropolitana de São Paulo e para áreas pertencentes ao meio tropical úmido. É resultado obtido basicamente do conjunto de estudos de longo prazo anteriormente mencionados. Sua estruturação, foi também orientado pela proposta dos geoindicadores de BERGER e IANS (1996), de COLTRINARI e MACCALL (1995), além das pioneiras proposições de NIR (1983), DOUGLAS (1983) e de GUPTA (1984), sendo as duas últimas especialmente formuladas para o meio urbano e zonas tropicais.

A proposta dos geoindicadores foi de iniciativa de grupo vinculado à IUGS - *International Union of Geological Science*, na qual são propostos indicadores para monitoramento de mudanças geológicas, voltadas para sistemas geomorfológicos, principalmente para áreas com alto nível de preservação. O quadro proposto aqui inspira-se na objetividade desta lista original, que apresenta parâmetros, indicadores e medidas, principalmente para monitoramento de processos de ciclo curto (cem anos ou menos).

O quadro aqui apresentado tem outro foco, o da preocupação em definir parâmetros, indicadores e medidas para os efeitos de ações antrópicas da urbanização em sistemas geomorfológicos. Está estruturado em parâmetros grupo e, por *tipo* (formas, materiais e processos, antropogênicos ou originais), por *escala* e por *sistema geomorfológico*, apresentando-se as respectivas unidades de medida e intervalos temporais recomendados para o monitoramento. Trata-se de lista metodologicamente construída para leituras quantitativas isoladas ou correlacionadas e passíveis de interpretações na perspectiva da ciência geomorfológica.

---

<sup>4</sup> Seção transversal de projeto.

**QUADRO DE INDICADORES E INSTRUMENTAIS PARA AVALIAÇÃO DE IMPACTOS E MUDANÇAS EM SISTEMAS HIDRO-GEOMORFOLÓGICOS URBANIZADOS.**

SISTEMAS	NATUREZA DO INDICADOR	ESCALA ESPACIAL DO INDICADOR
<ul style="list-style-type: none"> <li>BACIAS HIDROGRÁFICAS (BH)</li> <li>CANAIS FLUMIAIS (CF)</li> <li>PLANÍCIES (P)</li> <li>PLANÍCIES DE INUNDAÇÃO (PI)</li> <li>CONJUNTOS OU UNIDADES DE VERTENTES (CV, V)</li> <li>INTERFLÚVIOS (I)</li> <li>LAGOS (L)</li> <li>RESERVATÓRIOS (R)</li> <li>REMANÇOS DE RESERVATÓRIOS E de LAGOS (Rr e RL)</li> <li>VALES (V)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ORIGINAL OU ANтропоGENICO (O) PRÉ-</li> <li>ANTROPOGÊNICO (A)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>MÉDIA (M)</li> <li>DETALHE (D)</li> </ul>

**INDICADORES MORFOLÓGICOS**

SISTEMA INDICADOR	NATUREZA/ ESCALA	PARÂMETRO	UNIDADE	INSTRUMENTOS BÁSICOS
BH	AO/MD	ÁREA/forma/localização	m <sup>2</sup> ou km <sup>2</sup> /década/ ano/mês	CARTOGRAFIA (documentos antigos e recentes)
BH	AO/MD	DENSIDADE DE DRENAGEM (DD) ou COEFICIENTE DE MANUTENÇÃO (CM)	DD ou Co/década/ ano/mês km <sup>2</sup> /km <sup>2</sup> m <sup>2</sup> /m	CARTOGRAFIA (documentos antigos e recentes/aerofotos)
BH	AO/MD	DIREÇÃO DE FLUXO	Extensão Total/década/ ano/mês	CARTOGRAFIA (documentos antigos e recentes/aerofotos)
P	AO/D	ÁREA/ALTITUDE/forma/ localização	m <sup>2</sup> ou km <sup>2</sup> /década/ ano/ mês década/ ano/ mês	CARTOGRAFIA (documentos antigos e recentes/aerofotos) PERFIS topográficos antigos e recentes
PI	AO/MD	ÁREA	m <sup>2</sup> ou km <sup>2</sup> /década/ ano/mês	CARTOGRAFIA GEOMORFOLÓGICA RETROSPECTIVA
PI	AO/D	ALTITUDE	m/década/ano/mês	PERFIS topográficos antigos e recentes

(cont.) IDICADORES MORFOLÓGICOS

SISTEMA INDICADOR	NATUREZA/ ESCALA	PARÂMETRO	UNIDADE	INSTRUMENTOS BÁSICOS
CF	AOMD	COMPRIMENTO	m/km/década/ano/mês	CARTOGRAFIA GEOMORFOLÓGICA RETROSPECTIVA
CF	AOMD	PADRÃO	m ou km/ano/mês/ padrão	CARTOGRAFIA GEOMORFOLÓGICA RETROSPECTIVA
CF	AOMD	DECLINIDADE	m/h/ % /década/ano/ mês	CARTOGRAFIA GEOMORFOLÓGICA RETROSPECTIVA e relatórios técnicos.
CF	AO/D	LARGURA	m/década/ano/ mês	CARTOGRAFIA GEOMORFOLÓGICA RETROSPECTIVA
CF	AO/D	SEÇÃO TRANSVERSAL	m <sup>2</sup> /década/ano/ mês	RELATÓRIOS TÉCNICOS e levantamentos de CAMPO
CF	AO/D	PERFÍS BATIMÉTRICOS	Perfis correlacionáveis/década/ano	TOPO-BATIMETRIA em documentos antigos e recentes. Levantamento
CF	AO/D	PROFUNDIDADES MÉDIAS	h/ano/décadas	TOPO-BATIMETRIA em documentos antigos e recentes. Levantamento
I e CV	AOM	ÁREA	km <sup>2</sup> /década/ano/mês	CARTOGRAFIA GEOMORFOLÓGICA RETROSPECTIVA
V	AO/D	DECLINIDADES RUPTURAS EXTENSÃO ALTURA VOLUME	ângulos médios N (número) m m m <sup>2</sup>	Levantamento de Perfis CARTOGRAFIA GEOMORFOLÓGICA RETROSPECTIVA de detalhe
L, R, Rr e RI	AO/DM	ÁREA PROFUNDIDADES MÉDIAS LOCALIZAÇÃO VOLUME	km <sup>2</sup> /ano/década m/ano/década	CARTOGRAFIA GEOMORFOLÓGICA RETROSPECTIVA e relatórios técnicos

**INDICADORES DOS MATERIAIS SUPERFICIAIS: FORMAÇÕES SUPERFICIAIS E SOLOS. USO FÍSICO DA TERRA E COBERTURA VEGETAL**

INDICADORES	NATUREZA	PARÂMETROS	UNIDADE	INSTRUMENTOS BÁSICOS
COBERTURA VEGETAL	AO/DM	ÁREA/sistema/tempo	m <sup>2</sup> /km <sup>2</sup> /ano/década	CARTOGRAFIA/Documentos antigos e recentes/Imagens de satélite/Mosaicos/Campo
ÁREAS DESMATADAS	A/DM	ÁREA/sistema/tempo	m <sup>2</sup> /km <sup>2</sup> /ano/década	CARTOGRAFIA/Documentos antigos e recentes/Imagens de satélite/Mosaicos/Campo
SOLOS ORIGINAIS	O/DM	ÁREA/sistema/tempo	m <sup>2</sup> /km <sup>2</sup> /ano/década	CARTOGRAFIA/Documentos antigos e recentes/Imagens de satélite/Mosaicos/Campo/Dados pedológicos
SOLOS E FORMAÇÕES SUPERFICIAIS	AO/DM	ÁREA/sistema/ PROPRIEDADES/ volume/TEMPO  propriedades MECÂNICAS  propriedades HIDROLÓGICAS  propriedades SEDIMENTOLÓGICAS E PEDOLÓGICAS  propriedades ESTRATIGRÁFICAS	m <sup>2</sup> /km <sup>2</sup> /propriedades/m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> /sistema/ano/década  Resistência Compactação  Porosidade; Permeabilidade; Compactação  Textura; Estrutura; Outras  Espessura; Descontinuidades; Outras	CARTOGRAFIA/Aerofotos/Documentos antigos e recentes/Perfis/Sondagens  Levantamento de campo/Tradagens/Sondagens/Testes  Ensaio  Análises laboratoriais
SOLOS IMPERMEABILIZADOS	A/DM	ÁREA/tempo	km <sup>2</sup> /mês/ano/década	CARTOGRAFIA/Documentos antigos e recentes/Imagens de satélite/Mosaicos/Campo
ATERROS	A/DM	ÁREA/tempo	km <sup>2</sup> /mês/ano/década	CARTOGRAFIA/Documentos antigos e recentes/Imagens de satélite/Mosaicos/Campo
SOLOS PERTURBADOS (superfícies expostas/cortes e terraplenagens)	A/DM	ÁREA/tempo	km <sup>2</sup> /mês/ano/década	CARTOGRAFIA/Documentos antigos e recentes/Imagens de satélite/Mosaicos/Campo
SUPERFÍCIES URBANIZADAS Contínuas	A/DM	ÁREA/padrão morfológico urbano/tempo	km <sup>2</sup> /padrão/mês/ano/década	CARTOGRAFIA/Documentos antigos e recentes/Imagens de satélite/Mosaicos/Campo
LEITOS LACUSTRES FLUVIAIS E DE RESERVATÓRIOS	AO/D	Propriedades ESTRATIGRÁFICAS E SEDIMENTOLÓGICAS  volume /perfis/ tempo	m <sup>2</sup> /perfis/mês/ano/década  Estrutura  Textura  Espessura  Composição	CARTOGRAFIA GEOMORFOLÓGICA/Aerofotos/Documentos antigos e recentes/Perfis/Sondagens  Levantamento de Campo/ Tradagens/Sondagens/Testes  Análises laboratoriais

## INDICADORES DE PROCESSOS HIDRO-GEOMORFOLÓGICOS

INDICADOR-processo	NATUREZA	PARÂMETRO	UNIDADES	INSTRUMENTOS BÁSICOS
Variabilidade do NÍVEL D'ÁGUA (originais / de operação de sistemas hidráulicos/de canais, planícies e reservatórios)	AO/D	N. A/Número de eventos/tempo N. A/Número de eventos/ÁREA alagada correspondente	N/m/dia/mês/ano m/N/área	Pesquisa documental/dados de operação
REGIME FLUMAL	AO/DM	VARIABILIDADE ANUAL DAS VAZÕES (inclui margens plenas e inundações)	m <sup>3</sup> /s/vazões médias mensais/década/século	Pesquisa documental/monitoramento
Frequência e Magnitude de VAZÕES FLUVIAIS EXTREMAS (originais/de operação de sistemas hidráulicos/canais e reservatórios)	AO/D	Número de eventos de VAZÕES EXTREMAS/ magnitude/Tempo	N/m <sup>3</sup> /s/dia/mês/ano/década	Pesquisa documental/monitoramento
Variabilidade de VAZÕES de reservatórios e outros sistemas hidráulicos	A/D	NÚMERO de eventos/MAGNITUDE das VAZÕES/tempo	m <sup>3</sup> /s/década/ano/mês	Pesquisa documental/dados de operação
Variabilidade de VAZÕES SÓLIDAS em fluxos fluviais e de vertentes	AO/D	VAZÕES SÓLIDAS/volume/tempo/sistema Textura	m <sup>3</sup> /s/dia/mês/ano/década	Pesquisa documental/ Monitoramento de Campo/ Análises Laboratoriais
BALANÇOS de TIPOS DE FLUXOS HÍDRICOS em sistemas fluviais e de vertentes	AO/D	PARTICIPAÇÃO RELATIVA/TIPO de fluxo/tempo/área/sistema Participação relativa/TIPO de fluxo/TAXAS DE EROSIÃO correspondentes/ tempo/ sistema	Percentuais/tipo/dia/mês/ano/década/m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> / sistema percentuais/tipo/m <sup>3</sup> /s/dia/mês/ano/década/ sistema	Monitoramento de Campo
Taxas de DESMATAMENTO	A/DM	ÁREA/tempo	km <sup>2</sup> /ano/década	Cartografia/Documentos antigos e recentes/ aerofotos/mosaicos/ imagens de satélite
Frequência e Magnitude de INUNDAÇÕES	AO/DM	NÚMERO de eventos/N.As e VAZÕES correspondentes/ TEMPO de Duração e Frequência/Área sistema ou localização/	m/número de eventos/hora/m <sup>2</sup> / hora/dia/mês/ano/década/m <sup>2</sup> /sistema	Cartografia, Pesquisa documental e Monitoramento
Taxas e balanços de tipos de processos de EROSIÃO em VERTENTES	AO/D	VOLUME erodido/ processo/TEMPO ÁREA erodida/ processo/TEMPO tipos de processos: escoamento superficial concentrado, difuso, movimentos de massa e outros. FREQUÊNCIA/Número/tipo de evento/tempo	m <sup>3</sup> /hora/dia/mês/ano/década/tipo de evento m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> /tipo de processo/ mês/ano/década N/tipo de processo/ mês/ano/ década	Cartografia, Pesquisa documental e Monitoramento

## (Cont.) INDICADORES DE PROCESSOS HIDRO-GEOMORFOLÓGICOS

INDICADOR-processo	NATUREZA	PARÂMETRO	UNIDADES	INSTRUMENTOS BÁSICOS
Taxas e balanços de tipos de processos de EROÇÃO e TRANSPORTE em Sistemas Fluviais	AO/DM	VOLUME erodido/tipo de processo: solução, suspensão, rolamento e saltação e solapamento/desassoreamento/ TEMPO  participação relativa volume/ PROCESSO/TEMPO  VAZÕES SÓLIDAS tipo/ TEMPO	m <sup>3</sup> /tipo/dia/mês/ano/década.  percentuais em m <sup>3</sup> / tipo de processo /mês/ano/década  m <sup>3</sup> /textura/composição/ processo/dia/mês/ano/década	Cartografia, Pesquisa documental e Monitoramento
Taxas de EROÇÃO ANTROPOGÊNICA DIRETA (mineração/terra plenas/desassoreamento/outras)	A/DM	ÁREA erodida/sistema/ TEMPO  VOLUME de sedimentos/tipo de material/sistema TEMPO	m <sup>2</sup> /km <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> /sistema hora/dia/mês/ano/década/tipo  m <sup>3</sup> /composição/sistema/ hora/dia/mês./tipo/dia/mês./ano/década	Cartografia, Pesquisa documental e Monitoramento
Frequência e magnitude de MOVIMENTOS DE MASSA: escorregamentos rasos/rotacionais/outras	AO/D	Frequência: N/tipo/TEMPO  Frequência: N/tipo/ SISTEMA OU LOCALIZAÇÃO/tipo de intervenção antrópica associada/evento chuvoso/ TEMPO  ÁREA AFETADA ou VOLUME DESLOCADO/tipo de processo/TEMPO	Número de eventos/ mês/ano/década  Número de eventos/ processo/sistema/ intervenção./mm de chuva/ hora/mês/ano/década  m <sup>2</sup> /km <sup>2</sup> ou m <sup>3</sup> /km <sup>3</sup> /h/hora/mês/ano/década	Cartografia, Fotointerpretação, Pesquisa documental, Monitoramento de Campo
Taxas de DEPOSIÇÃO Coluvionamento/Assoreamento e colmatagem	AO/DM	VOLUME de sedimentos/TEMPO.  ÁREA / sistema/ Volume/TEMPO  SISTEMA afetado/TEMPO (sistemas: fluviais, Vertentes e Fluvio-lacustres)	m <sup>3</sup> /dia /mês/ano/ década  m <sup>2</sup> /km <sup>2</sup> /sistema/dia/ mês/ano/década  m <sup>2</sup> /km <sup>2</sup> total /m <sup>2</sup> /km <sup>2</sup> percentual afetado/ano/década/século	Cartografia, Fotointerpretação, Imagens, Pesquisa documental, Monitoramento de Campo
taxas de DEPOSIÇÃO ANTROPOGÊNICA direta  * Aterros, lixões, edificações e outras.	A/DM	VOLUME de sedimentos/sistema/TEMPO  ÁREA /sistema deposicional/ TEMPO  VOLUME /Tipo de sedimento/sistema/tempo	m <sup>3</sup> /dia/mês/ano/década/século  m <sup>2</sup> /km <sup>2</sup> /sistema/dia/ mês/ano/década/século  m <sup>3</sup> /km <sup>3</sup> /textura; estrutura;composição/ sistema/dia/mês/ano/década/século	Cartografia, Fotointerpretação, Imagens, Pesquisa documental, Monitoramento de campo
taxas DE PRODUÇÃO DE MATERIAL TECNOLÓGICO  *Verticalização, mineração, esgoto, lixo e outros	A/DM.	Área Produtora/sistema afetado  Volume de material composição/tempo	m <sup>2</sup> /Km <sup>2</sup> /dia /mês/ano/década/século  m <sup>3</sup> /composição/dia/ mês/ano/década/século	Cartografia, Pesquisa documental, Monitoramento

RODRIGUES, C (2010). Assessment of the human impact of urbanization on hydrogeomorphological systems. Methodology development and application in Sao Paulo metropolitan area. *Revista do Departamento de Geografia*, n. 20, p. 111 - 125

**Abstract:** Researches concerning hydrogeomorphological systems with different anthropogenic intervention levels in São Paulo Metropolitan area have developed and applied methodological procedures suggested by RODRIGUES (1990;1997;1999;2004 e 2005). These researches that consider selected principles obtained from theoretical and methodological reviews related to Geomorphology and Physical Geography, have been using different and complementary spatial and temporal scales. Progressively they have demonstrated the applicability of *anthropogeomorphology* and *retrospective geomorphological mapping*, mainly to identify indicators and parameters to evaluate changes and effects of human interventions in urban hydrogeomorphologic systems. These researches have also demonstrated partial reasons for the difficulties to produce researches in complex and anthropogenic systems. These difficulties are related to the needs to consider simultaneously methodologic bases to integrate approaches and quantitative parameters with long term data series that can be supported by archival researches. Some results reveal that cumulative human interventions in hydrogeomorphologic systems of São Paulo Metropolitan area have produced events of similar magnitude or frequency to extremes and anomalous natural events. Even these researches concern physical parameters of changes, they can also relate these physical parameters to social actors and management tools in the historical urban process and improve territorial and environmental management.

**Key Words:** Applied Geomorphology; Human Impact Assessment; São Paulo Metropolitan Region; Fluvial Geomorphology; Geoindicators; Geomorphological Mapping; Urban Geomorphology.

Recebido em 5 de outubro de 2008, aceito em 13 de agosto de 2010

## Referências

- ALAMEDDINE, N.; RODRIGUES, C. (2006) Mapeamento de Unidades Morfológicas Complexas na Bacia do Ribeirão Pirajucara (SP): Uma Proposta para Sistemas Geomorfológicos Antropizados. In: VI Simpósio Nacional de Geomorfologia, 2006, Goiânia. *Anais do VI Simpósio Nacional de Geomorfologia*.
- BATISTA, S; RODRIGUES, C. (2002) Evolução Urbana e Sistemas Geomorfológicos na RMSP: Enfoque cartográfico em escala média. In: *Anais do IV Simpósio Nacional de Geomorfologia*, 2002, São Luís. VI Simpósio Nacional de Geomorfologia.
- BERGER, A.R.; IAMS, W.J.. (Org.). (1996) *Geoindicators - Assessing environmental changes in Earth systems..* 1 ed. Rotterdam: A.A.Balkema, v. 1, p. 295-310.
- COLTRINARI, L.; MCCALL, G. H. (1995). Geo-indicadores: ciências da Terra e mudanças ambientais. In: *Revista do Departamento de Geografia (USP)*, São Paulo, v. 9, n. 9, p. 5-11.
- CARMO, W. (1998) *Avaliação da técnica de levantamentos de perfis para dimensionamento da ação antrópica em áreas de proteção aos mananciais. O bairro do Jusa em Guarapiranga.* Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Geografia) - Universidade de São Paulo.
- CARVALHO, D.; RODRIGUES, C. (2002) Ensaio de Cartografia Morfológica de Detalhe sob a Abordagem da Antropogeomorfologia. Bairro do Jardim Serrano (Ribeirão Pires - RMSP). In: IV Simpósio Nacional de Geomorfologia, 2002, São Luis - MA. *Anais do IV Simpósio Nacional de Geomorfologia*, v. 2.
- CARVALHO, D. (2006) *Indicadores geomorfológicos de mudanças ambientais no sistema fluvial do Alto Tietê, município de São Paulo: pesquisa documental.* Dissertação (Mestrado em Geografia Física) - Universidade de São Paulo.
- DOUGLAS, I. (1983) *The urban environment.* London, Edward Arnold, 225p.
- DOUGLAS, I. (1998) Urban Metabolism, Material Flows and Sustainable Development: a geoenvironmental perspective. 4<sup>th</sup> International Symposium on Environmental Geotechnology and Global Sustainable Development Boston, USA, August 9, 1998.
- GUPTA, A. (1984) Urban Hidrology and sedimentation in the humid tropics. In J.E. Costa and P.J. Fleisher (eds), *Developments and Applications of Geomorphology*, Berlin, Springer, 1984, pp 240-267
- GUPTA, A. (1999) Geoindicators for tropical urbanization. *Anais da Regional Conference on Geomorphology*. Rio de Janeiro.
- LIMA, C. R. (1990) *Urbanização e intervenções no meio físico na borda da bacia sedimentar de São Paulo. Uma abordagem geomorfológica.* Dissertação de Mestrado. São Paulo, FFLCH/ USP.

- NIR, D. (1983) *Man, a geomorphological agent: an introduction to anthropic geomorphology*. Jerusalem, Ketem Pub. House.
- RODRIGUES, C. (1997) *Geomorfologia Aplicada: Avaliação de experiências e de instrumentos de planejamento físico-territorial e ambiental brasileiros*. Tese de Doutorado apresentada à FFLCH-USP. São Paulo, dez de 1997.
- \_\_\_\_\_ (1999) On Anthropogeomorphology. In: *Anais da Regional Conference on Geomorphology*, 1999, Rio de Janeiro. v. 1. p. 100-110.
- \_\_\_\_\_ (2004) *A urbanização da metrópole sob a perspectiva da Geomorfologia: Tributos a leituras Geográficas*. In: CARLOS, A. F; OLIVEIRA, A. U. de. (Org.). *As Geografias de São Paulo*. São Paulo: Contexto, v. 1, p. 89-114.
- \_\_\_\_\_ (2005) Efeitos da Urbanização em Sistemas Geomorfológicos. O Exemplo de São Paulo - Brasil. In: X Encontro de Geógrafos da América Latina, 2005, São Paulo. *Anais do X Encontro de Geógrafos da América Latina*.
- RODRIGUES, C.; COLTRINARI, L. (2004) Geoindicators of Urbanization Effects in Humid Tropical Environment: São Paulo (Brazil) Metropolitan Area. In: 32nd International Geological Congress, 2004. *Proceedings of 32nd International Geological Congress*.
- RODRIGUES, C.; COLTRINARI, L. (2005) Urbanization and geomorphologic changes in humid tropical environment: methodological propose for Sao Paulo/Brazil. In: Sixth International Conference on Geomorphology, 2005, Zaragoza. *Proceedings of Sixth International Conference on Geomorphology 2005*.
- SILVA, Juliana de Paula; RODRIGUES, C. (2006) Expansão Urbana e Evolução Geomorfológica em Remansos de Reservatórios: Análise Comparativa de Duas Bacias Hidrográficas em Guarapiranga, São Paulo. In: VI Simpósio Nacional de Geomorfologia, 2006, Goiânia. *Anais do VI Simpósio Nacional de Geomorfologia*.

