# Processos erosivos e recuperação de áreas degradadas



# Processos erosivos e recuperação de áreas degradadas



Copyright © 2013 Oficina de Textos 1ª reimpressão 2014

Grafia atualizada conforme o Acordo Ortográfico da Língua Portuguesa de 1990, em vigor no Brasil desde 2009.

Conselho editorial Cylon Gonçalves da Silva; Doris C. C. K. Kowaltowski;
José Galizia Tundisi; Luis Enrique Sánchez; Paulo Helene;
Rozely Ferreira dos Santos; Teresa Gallotti Florenzano

Capa e projeto gráfico Malu Vallim

Diagramação Casa Editorial Maluhy & Co.

Preparação de textos Cássio Dias Pelin

Revisão de textos Max Welcman

Impressão e acabamento Vida & Consciência Editora Gráfica Ltda.

#### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Processos erosivos e recuperação de áreas degradadas / Antonio José Teixeira Guerra, Maria do Carmo Oliveira Jorge, organizadores. --São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

Bibliografia. ISBN 978-85-7975-079-3

1. Áreas degradadas - Recuperação 2. Degradação ambiental 3. Erosão do solo - Controle 4. Gestão ambiental - Estudo e ensino I. Guerra, Antonio José Teixeira. II. Jorge, Maria do Carmo Oliveira.

13-06077

CDD-363.72807

Índices para catálogo sistemático:

 Processos erosivos: e recuperação de áreas degradadas: Problemas ambientais: Problemas sociais: Estudo e ensino 363.72807

Todos os direitos reservados à **Editora Oficina de Textos**Rua Cubatão, 959
CEP 04013-043 São Paulo SP
tel. (11) 3085-7933 fax (11) 3083-0849
www.ofitexto.com.br
atend@ofitexto.com.br

#### Prefácio

Os organizadores do livro Processos erosivos e recuperação de áreas degradadas agradecem à Editora Oficina de Textos por publicar esta obra, que aborda uma temática de grande importância no cenário nacional, não só do ponto de vista acadêmico, mas no que se refere a riscos de erosão e movimentos de massa que atingem muitas pessoas, tanto no meio urbano como no rural.

Profissionais envolvidos com essa questão, atuantes em órgãos públicos ou consultorias, poderão se valer dos conceitos, métodos, aplicações e exemplos apresentados para melhor desenvolver os seus respectivos trabalhos acadêmicos e técnicos.

O livro não pretende esgotar o tema, porém, procura abordar aspectos relacionados à erosão acelerada dos solos e aos movimentos de massa, contendo, essencialmente, exemplos nacionais e internacionais, para que o público-alvo de áreas específicas – acadêmicos, geógrafos, geólogos, engenheiros (ambiental, civil, agronômico e florestal), arquitetos, biólogos, ecólogos e urbanistas –, bem como de áreas afins, que necessitam de conhecimento mais aprofundado – como planejadores, técnicos da Defesa Civil, das prefeituras, dos governos estaduais e do federal, das secretarias de Meio Ambiente, de Planejamento e Obras etc., além dos que trabalham em empresas de consultoria –, possam utilizá-lo como fonte de consulta, para subsidiar seus projetos e pesquisas.

Para atingir tal objetivo, Processos erosivos e recuperação de áreas degradadas possui seis capítulos, em que são abordados, por pesquisadores especialistas, diversos tópicos das mais diferentes áreas do conhecimento, com o intuito de sempre oferecer as melhores alternativas.

Erosão dos solos e movimentos de massa – recuperação de áreas degradadas com técnicas de bioengenharia e prevenção de acidentes (Cap. 1), escrito pelos organizadores do livro – Maria do Carmo Oliveira Jorge e Antônio José Teixeira Guerra –, apresenta uma série de conceitos, métodos e exemplos a respeito do assunto.

Reabilitação de áreas degradadas por erosão em São Luís – Maranhão (Cap. 2), escrito por José Fernando Rodrigues Bezerra, destaca o papel das técnicas de

bioengenharia na recuperação de áreas degradadas e contém diversos exemplos aplicados pelo autor.

No Cap. 3, Importância do fator antrópico na redefinição de processos geomorfológicos e riscos associados em áreas urbanizadas do meio tropical úmido – exemplos na Grande São Paulo, as autoras - Cleide Rodrigues e Isabel Cristina Moroz-Caccia Gouveia –, abordam diversos elementos relacionados ao fator antrópico nos processos geomorfológicos, além de apresentar diversos exemplos da Grande São Paulo.

Hugo Alves Soares Loureiro e Stella Mendes Ferreira, com O papel das geotecnologias no estudo de feições erosivas e de movimentos de massa no Brasil, Cap. 4, enfatizam a importância e a necessidade de se utilizar essas técnicas para melhor compreensão das feições erosivas e dos movimentos de massa, não só do ponto de vista acadêmico como técnico.

No Cap. 5, Osvaldo Girão, Antônio Carlos de Barros Corrêa, Ranyére Silva Nóbrega e Cristiana Coutinho Duarte expõem O papel do clima nos estudos de prevenção e diagnóstico de riscos geomorfológicos em bacias hidrográficas na Zona da Mata Sul de Pernambuco, destacando as várias formas de como o clima é importante nos estudos geomorfológicos relacionados à erosão dos solos e aos movimentos de massa.

Finalmente, Dieter Muehe demonstra com Erosão costeira, mudança do clima e vulnerabilidade, Cap. 6, que a erosão é cada vez mais acelerada no litoral, com construções muito próximas ao limite com a praia, tornando a percepção de risco associado a processos erosivos, antes limitados a relativamente pequenas áreas, muito mais generalizada.

Com esses seis capítulos, os organizadores de Processos erosivos e recuperação de áreas degradadas esperam criar parâmetros que permitam aos leitores avaliar a importância desse estudo, levando em conta as diversas abordagens, e contribuir com a efetiva prevenção contra tais processos, evitando que continuem a ocorrer no país ou, ao menos, que se saiba lidar adequadamente com eles.

Os organizadores

## Sumário

1	Erosão dos solos e movimentos de massa – recuperação de áreas					
	DEG	radadas com técnicas de bioengenharia e prevenção de acidentes	7			
	1.1	Erosão dos solos	. 8			
	1.2	Movimentos de massa	13			
	1.3	Prevenção de acidentes	18			
	1.4	Recuperação de áreas degradadas com técnicas de bioengenharia	21			
	1.5	Conclusões	27			
	Refe	rências bibliográficas	28			
2	Rea	bilitação de áreas degradadas por erosão em São Luís/MA	31			
	2.1	Bioengenharia de solos	34			
	2.2	Monitoramento de estação experimental com técnicas de bioengenharia d	e			
		solos	36			
	2.3	Reabilitação de áreas degradadas por erosão com técnica de bioengenharia	ì			
		de solos	54			
	2.4	Conclusões	58			
	Refe	rências bibliográficas	60			
3	Імр	ORTÂNCIA DO FATOR ANTRÓPICO NA REDEFINIÇÃO DE PROCESSOS				
		MORFOLÓGICOS E RISCOS ASSOCIADOS EM ÁREAS URBANIZADAS DO MEIO				
	TRO	pical úmido. Exemplos na Grande São Paulo	66			
	3.1	Perspectiva geomorfológica na análise das intervenções antrópicas nas				
		paisagens	66			
	3.2	Intervenções antrópicas da urbanização: formas antropogênicas, materiais	3			
		tecnogênicos e redefinição de balanços e vetores de processos	69			
	3.3	Geomorfologia urbana: Fases da urbanização, modalidades de intervenção	e			
		processos associados	72			
	3.4	Exemplos de intervenções urbanas, produção de morfologia complexa e				
		processos associados	77			
	Refe	rências bibliográficas	92			

4	O papel das geotecnologias no estudo de feições erosivas					
	E DE	MOVIMENTOS DE MASSA NO BRASIL	. 95			
	4.1	Geotecnologias: instrumentos e ferramentas de trabalho	. 97			
	4.2	Geotecnologias e pesquisa no Brasil	103			
	4.3	Aplicação de geotecnologias em estudos de movimentos de massa e				
		processos erosivos	108			
	4.4	Conclusões	120			
	Refe	rências bibliográficas	122			
5		APEL DO CLIMA NOS ESTUDOS DE PREVENÇÃO E DIAGNÓSTICO DE RISCOS				
		morfológicos em bacias hidrográficas na Zona da Mata Sul de	100			
	PERI	NAMBUCO				
	5.1	Eventos naturais e riscos geomorfológicos dependentes do clima				
	5.2	O arcabouço geomorfológico da Zona da Mata de Pernambuco	131			
	5.3	.3 Dinâmica climática sobre a Zona da Mata pernambucana e o evento pluvia				
		extremo de 16 a 19 de junho de 2010	142			
	5.4	Perigo de inundações nas bacias hidrográficas dos rios Una e Sirinhaém	147			
	5.5	Conclusões	155			
	Refe	rências bibliográficas	156			
6	Ero	SÃO COSTEIRA, MUDANÇA DO CLIMA E VULNERABILIDADE	160			
	6.1	Elevação do nível do mar	161			
	6.2	Dinâmica praial ou erosão costeira?	164			
	6.3	Alguns exemplos de técnicas de levantamento	169			
	6.4	Erosão costeira e vulnerabilidade potencial por causa das mudanças do				
		clima	173			
	6.5	Transporte litorâneo e seus efeitos no balanço sedimentar	182			
	6.6	Conclusões	185			
	Refe	rências bibliográficas	186			
So	DDE C	OC AUTODES	191			

### Erosão dos solos e movimentos de massa – recuperação de áreas degradadas com técnicas de bioengenharia e prevenção de acidentes

Maria do Carmo Oliveira Jorge | Antônio José Teixeira Guerra

Este capítulo se refere à erosão dos solos e movimentos de massa, tendo como objetivo apresentar várias maneiras de como fazer a recuperação de áreas degradadas, usando-se técnicas de bioengenharia aliadas à prevenção desses acidentes.

São abordados diversos tópicos sobre esses processos de degradação, sua prevenção e o que pode ser feito para recuperar as áreas danificadas com a utilização de técnicas de bioengenharia.

Existem diversas formas de erosão, mas a provocada pelo escoamento superficial e subsuperficial, nas encostas, é a que possui maior distribuição geográfica em diversos países, e, por isso, é priorizada no capítulo.

Com relação aos movimentos de massa, sua distribuição espacial é menor, ocorrendo com menos frequência. Apesar disso, também serão analisados, em especial porque, além de causar danos materiais, em muitas situações provocam a morte de centenas de pessoas, como é o caso das catástrofes ocorridas num passado recente, no Estado do Rio de Janeiro, a pior delas em 12/1/2011.

Vamos procurar despertar no leitor o interesse por um tema atual, que ainda se ressente de discussões teóricas, conceituais, aplicadas e metodológicas. Entendemos que, dessa maneira, o assunto passará a ser explorado, tanto no meio acadêmico – como subsídio teórico-conceitual a monografias, dissertações e teses, no âmbito das universidades – como no meio técnico – por empresas de consultoria e secretarias municipais e estaduais do meio ambiente – visando a contribuir no diagnóstico, prognóstico e recuperação de áreas degradadas, por meio do uso de técnicas de bioengenharia.

Por esse motivo, Recuperação de áreas degradadas por processos erosivos e movimentos de massa possui capítulos que se constituem em estudos de caso, mas, ao mesmo tempo, aborda questões relacionadas ao papel dos solos, do clima, da geomorfologia e das geotecnologias, tanto no diagnóstico, como no

Segundo esses autores, o processo se inicia com a erosão em lençol, que tende a se concentrar em pequenas incisões, formando inicialmente ravinas, que podem evoluir para voçorocas, à medida que se alargam e se aprofundam.

Fullen e Catt (2004) admitem que o tema possa ser polêmico, quando se procura diferenciar ravinas de voçorocas. Eles procuram diferenciar os dois processos, afirmando que, enquanto as ravinas tendem a fazer incisão, principalmente no horizonte A, as voçorocas atingem facilmente os horizontes B e C, podendo, por vezes, chegar até a rocha matriz, dependendo da força do processo erosivo.

#### 1.2 MOVIMENTOS DE MASSA

Assim como a erosão dos solos, movimentos de massa são um tema cada vez mais relevante. Apesar dos dois processos se constituírem em uma forma de desgaste/degradação da superfície terrestre, neste capítulo, assim como em vários livros, publicados no Brasil e no exterior, esses processos geomorfológicos são analisados separadamente. A propósito disso, Selby (1993) coloca, de forma bem clara, no livro Hillslope materials and processes, que os movimentos de massa, aos quais ele chama de mass wasting of soils (desgaste dos solos), são movimentos de solo e/ou rocha encosta abaixo, sob a influência da gravidade, sendo movimentos coletivos de material, sem a ação direta da água ou do gelo.

Quando ocorre a ação da água ou do gelo, no entanto, esses agentes podem reduzir a resistência ao cisalhamento da encosta, contribuindo para o comportamento plástico e fluido dos solos. Isso pode tornar os movimentos de massa ainda mais catastróficos (Fig. 1.5).

Vários autores têm abordado esse tema, e Hart (1986) destaca que os movimentos de massa são resultado da força de cisalhamento nas encostas, causada pela gravidade, peso do material e água no solo, que consegue superar a resistência dos materiais, determinada por propriedades de coesão dos solos nas encostas. Ainda segundo Hart (1986), os movimentos de massa podem ser classificados de várias maneiras, e a mais simples delas é a que se divide em: fluxos (flows), deslizamentos (slides) e quedas (falls).

Existe uma categoria denominada rastejamento (*creep*), que Hansen (1984) descreve como definida basicamente pela velocidade, por sua natureza lenta de movimento.

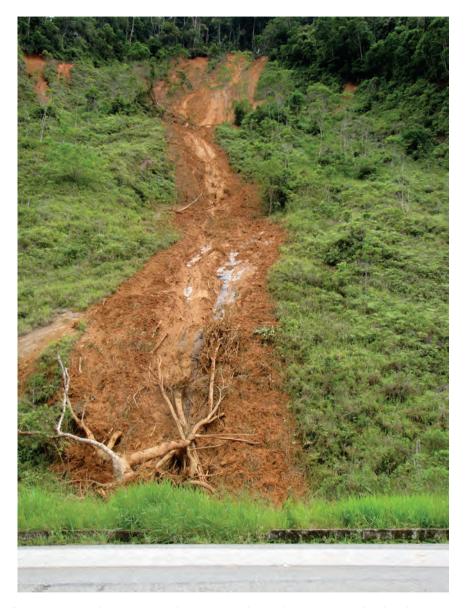


Fig. 1.6 Cicatriz de movimento de massa translacional no município de Ubatuba/SP

A ocupação desordenada dessas encostas, desmatadas para a construção de casas e ruas, que, na maior parte das vezes, não possuem rede de esgoto e galerias pluviais adequadas e dimensionadas para suportar o crescimento urbano, é a principal responsável pela ocorrência desses processos, que causa

política local, nacional e mundial. No entanto, Thomas e Allison (1993) afirmam que, enquanto os políticos querem respostas imediatas para problemas tão complexos, os cientistas têm de estar atentos para a complexidade dos sistemas naturais, que interagem com a ocupação e transformação causada pelo homem, fazendo com que esses sistemas tornem-se cada vez mais frágeis em relação a catástrofes, muitas vezes, difíceis de serem prognosticadas, e essa é uma das missões dos cientistas.

A propósito de *Landscape sensitivity*, Evans (1993), nesse livro, chama atenção para o risco de erosão nos solos da Grã-Bretanha, que são muito suscetíveis, em decorrência da falta de práticas conservacionistas, especialmente logo após o plantio, quando os solos estão mais sensíveis à ação da água da chuva e dos ventos.

Em determinados anos, Evans (1993) destaca que alguns desses solos chegam a erodir em até 25% do total, com risco de ravinamentos. Ele continua, dizendo que as encostas mais íngremes da Grã-Bretanha, que são protegidas por cobertura vegetal, apenas apresentam riscos a movimentos de massa quando as chuvas são intensas e prolongadas, o que possui um período de recorrência de 50 anos.

Geralmente, apenas pequenas partes da paisagem sofrem esse tipo de processo geomorfológico, mas os efeitos permanecem por muitos anos, embora as cicatrizes acabem sendo revegetadas naturalmente em 15 anos.

Evans (1993) afirma que a identificação de áreas de risco à erosão dos solos e aos movimentos de massa, elaborada com o uso de uma série de técnicas de geoprocessamento, aliadas ao trabalho de campo, pode ser uma grande aliada na prevenção de acidentes.

## 1.4 RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS COM TÉCNICAS DE BIOENGENHARIA

Cada vez mais surgem novas técnicas para promover a recuperação de áreas degradadas, e a bioengenharia tem sido utilizada em diversas situações com sucesso, na maioria dos casos, como veremos a seguir.

Para Durlo e Sutili (2005), "o conhecimento das exigências e características biológicas da vegetação, especialmente sua capacidade para a solução de problemas técnicos de estabilização de margens e encostas, combinado com a



**Fig. 1.11** Trecho de encosta degradada, na bacia do rio São Pedro, antes da sua recuperação

Foto: Lagesolos (2012).



**Fig. 1.12** Trecho igual ao da Fig. 1.11, logo após a colocação de geotêxteis feitos com fibra de tronco de bananeira Foto: Lagesolos (2012).

#### José Fernando Rodrigues Bezerra

A Geomorfologia constitui uma ciência, cujo objeto se fundamenta na busca da explicação da evolução das formas e processos que deram origem ao modelado terrestre, procurando compreender a evolução temporal do relevo por meio da atividade dos agentes e processos morfogenéticos, tendo em vista a escala de atuação dos processos físicos, químicos e biológicos, bem como a intervenção humana na dinâmica da paisagem (Christofoletti, 1980; Penteado, 1980; Ritter, 1986; Cooke; Doornkamp, 1991; Sumerfield, 1991; Selby, 1993; Guerra; Cunha, 1996; Bloom, 1998; Strahler; Strahler, 2000; Casseti, 2005; Hjorta; Marmionb, 2008; Murray et al., 2009).

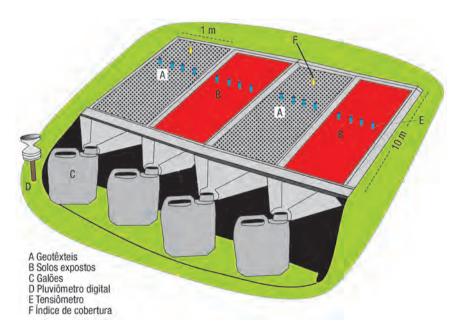
A inserção da Geomorfologia nos estudos ambientais está direcionada para a compreensão das formas do relevo, procurando-se estabelecer a explicação genética e as inter-relações com os demais componentes da natureza, considerando também as atividades modificadoras causadas pela ação humana (Gardiner, 1987; Ross, 1991; Guerra; Cunha, 1996; Guerra; Marçal, 2006; Gregory; Benito; Downs, 2008; Ruiz-Sinoga; Martínez-Murillo, 2009; Shou; Chen; Liu, 2009).

Nesse contexto, a erosão dos solos ganha destaque nos estudos geomorfológicos.

A erosão é um dos principais processos responsáveis pela esculturação do relevo terrestre, podendo ser percebida de forma direta em áreas urbanas e rurais. Nos centros urbanos, onde a transformação da paisagem apresenta-se de forma desordenada, os problemas ambientais que afetam a qualidade de vida da população, como erosão, assoreamento, poluição e contaminação dos recursos hídricos são iminentes. (Oliveira, 1999; Silva et al., 1999; Salomão, 1999; Sudo, 2000; Fullen; Guerra, 2002; Fullen; Catt, 2004; Araújo; Almeida; Guerra, 2005; Gangolells et al., 2009; Goethals et al., 2009).

Com a crescente urbanização desordenada, os problemas socioambientais nas cidades se intensificam. Nesse sentido, os processos erosivos tornam-se junho de 2009, com técnicas de bioengenharia de solos, utilizando geotêxteis produzidos com fibra de palmeira de buriti e com os seguintes parâmetros avaliados: índice de cobertura vegetal, pinos de erosão, potencial matricial, escoamento superficial e erosão. Os resultados alcançados serão apresentados com a aplicação da técnica de bioengenharia na reabilitação de áreas degradadas na voçoroca do Sacavém, em São Luís/MA.

A pesquisa utilizou uma estação experimental na Universidade Federal do Maranhão, dentro da bacia do rio Bacanga, com declividade de 20°. A estação foi composta por duas parcelas com 10 m² cada, uma com solo exposto (SEa, SEb) e outra com geotêxteis de buriti (GEa, GEb), sendo uma réplica para cada tratamento (Fig. 2.1). Não foram adotadas medidas corretivas no solo. Na parte inferior das parcelas foram colocados quatro galões d'água com 200 litros de capacidade para avaliação dos parâmetros de perda de solo, utilizando os processos e subprocessos relacionados ao comportamento hídrico.



**Fig. 2.1** Esquema da estação experimental, com parcelas com geotêxteis (GEa, GEb) e solo exposto (SEa, SEb)



#### 2.1 BIOENGENHARIA DE SOLOS

A Geomorfologia pode contribuir na recuperação das áreas degradadas por erosão, em conjunto com a Engenharia, Geologia, Pedologia, Bioengenharia e outras ciências afins. Nem sempre a melhor solução precisa ser necessariamente um grande muro de arrimo: muitas vezes, outras técnicas, ditas naturais e de custo mais baixo, podem trazer benefícios semelhantes, sem transformar tanto a paisagem. Além disso, sua durabilidade pode ser igual ou até maior do que as obras tradicionais de contenção de encostas feitas pela engenharia (Smets; Poesen; Knapen, 2008; Guerra et al., 2009; Smets; Poesen, 2009; Bhattacharyya et al., 2009, 2010).

O geotêxtil é uma manta antierosiva colocada sobre o solo e confeccionada de diversos materiais, podendo ser produzida, por exemplo, com folhas de palmáceas, que possuem características como a biodegradabilidade. Os geotêxteis vêm contribuindo como uma técnica de conservação do solo desde 1950 e são utilizados principalmente nos projetos de engenharia. Recentemente, outros profissionais os vêm utilizando, dos mais diversos tipos de materiais – como a fibra da palmeira do buriti –, para a contenção de encostas e reabilitação de áreas degradadas (Fullen; Guerra, 2002; Smets et al., 2009; Bhattacharyya, 2010).

As áreas degradadas, segundo Morgan (1981), podem ser definidas com a perda da produtividade da terra, quantitativamente ou qualitativamente, pela constatação de vários processos, como erosão, ação eólica, salinização, diminuição de nutrientes, deterioração da estrutura do solo e poluição.

Os danos causados pela degradação de terras são primeiramente analisados em relação aos aspectos físicos do ambiente, como solo, relevo e clima. Outro aspecto muito importante no processo de degradação é a ação antrópica.

De acordo com Salomão (1999), a adoção de medidas efetivas de controle preventivo e corretivo da erosão depende da dinâmica do funcionamento hídrico sobre o terreno, devendo considerar também a dinâmica do uso do solo, suas propriedades físicas e químicas, bem como as condições climáticas, em áreas urbanas, em especial a interferência antrópica.

As medidas de reabilitação das encostas afetadas pela erosão e pelos movimentos de massa devem levar em conta os processos geomorfológicos que causaram esses impactos, bem como as características hidrológicas, geológicas e a interferência antrópica.



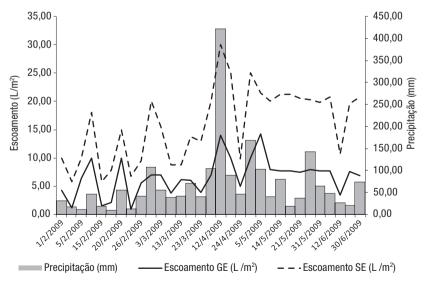
rápida mudança no conteúdo de água e potencial matricial durante e após eventos chuvosos e, preferencialmente, o escoamento superficial pode ocorrer até um metro do perfil.

#### 2.2.4 Escoamento superficial e erosão

A eficiência dos geotêxteis biodegradáveis e gramíneas na redução do escoamento superficial e perda de sedimentos foram investigadas na estação experimental. No período de monitoramento dessas duas variáveis, foram observados 2.067,50 mm de chuva, produzindo um fluxo superficial total de 208,57 L/m² no experimento com geotêxteis e gramíneas e um escoamento de 494,63 L/m² na parcela com superfície exposta, bem mais que o dobro que a parcela com os geotêxteis (Figs. 2.6 e 2.7).

Em relação à perda de sedimentos, os dados apresentaram diferenças significativas entre as duas parcelas, indicando para a eficiência dos geotêxteis e gramíneas como obstáculo para o transporte dos sedimentos.

A parcela com biotêxteis de buriti perdeu 255,85 g m $^{-2}$  de sedimentos, enquanto o experimento com a superfície exposta chegou a 4.390,96 g m $^{-2}$  de sedimentos, 17 vezes maior (Figs. 2.6 e 2.7).



**Fig. 2.6** Variação temporal do escoamento superficial na estação experimental **GE:** Geotêxteis com gramíneas; **SE:** Solo exposto.



**Fig. 2.8** Diferenças no efeito splash nas parcelas com geotêxteis e solo exposto no início do monitoramento da estação experimental

Considerando os valores mensais de fluxo superficial e a taxa de erosão no experimento, foram calculados o coeficiente de escoamento superficial (CES), a eficiência dos geotêxteis na redução do escoamento superficial (RES), e a eficiência dos geotêxteis na redução da produção de sedimentos (RPS), baseados nos trabalhos de Sutherland (1998), representados pelas fórmulas abaixo:

$$CES = 100 \times \frac{Volume \ do \ escoamento \ superficial \ (mm)}{Volume \ de \ precipitação \ (mm)}$$

RES = 
$$100 \times \frac{\text{[CES solo exposto (%) - CES geotêxteis e vegetação (%)]}}{\text{CES solo exposto (%)}}$$

$$RPS = 100 \times \frac{\begin{bmatrix} Produção de sedimentos & Produção de sedimentos \\ solo exposto (g) & geotêxteis e vegetação (g) \end{bmatrix}}{Produção de sedimentos solo exposto}$$



O coeficiente de escoamento superficial (CES) chegou a 38,39 % (SE) e a 15,45% (GE), indicando a importância da cobertura no solo na diminuição do fluxo superficial. Os valores de escoamento (L/m²) e perda de solo (g m²) foram transformados logaritmicamente. Estatisticamente, a diferença desses parâmetros entre as parcelas com solo exposto (SE) e geotêxteis com cobertura vegetal (GE) foram significativas no teste de Mann-Whitney (P<0,001) (Smets; Poesen; Knapen, 2008; Guerra et al., 2009; Smets; Poesen, 2009; Bhattacharyya et al., 2009, 2010).

Em relação à eficiência dos geotêxteis na redução do escoamento superficial (RES) e na redução da produção de sedimentos (RPS), ela alcançou taxas de 58,30% e 90,15%, respectivamente. Esses resultados demonstram que os geotêxteis de fibra de buriti foram eficientes na redução do fluxo superficial e transporte de sedimentos, quando comparados com outras pesquisas com diferentes geotêxteis (Smets; Poesen; Knapen, 2008; Smets; Poesen, 2009; Bhattacharyya et al., 2009, 2010).

## 2.3 REABILITAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS POR EROSÃO COM TÉCNICA DE BIOENGENHARIA DE SOLOS

Dos agentes causadores dos processos erosivos em São Luís, foram observadas as ações conjugadas de diversos agentes, predominando a ação da chuva, dos ventos, e a ação antrópica sobre uma formação sedimentar mal consolidada e friável, como no caso das formações Barreira e Itapecuru (Feitosa, 1989, 1996; Maranhão, 1998).

Os eventos pluviométricos na porção norte do Estado do Maranhão são caracterizados como de alta erosividade e influencia sobre o desenvolvimento de voçorocamento por toda a ilha do Maranhão. Os índices pluviométricos ultrapassam os 2.000 mm/ano segundo dados dos períodos de 1971 a 1998 e de 2003 a 2008 (Fig. 2.9).

A análise desse período demonstrou que as maiores precipitações estão concentradas entre os meses de janeiro e julho, e março e abril (Fig. 2.10) detêm os maiores índices pluviométricos, ocorrendo chuvas diárias que ultrapassam os 180 mm.

Quanto à ação dos agentes pluviométricos, percebeu-se a atuação de vários mecanismos que originam diferentes feições erosivas, que ocorrem 3

## Importância do fator antrópico na redefinição de processos geomorfológicos e riscos associados em áreas urbanizadas do meio tropical úmido. Exemplos na Grande São Paulo

Cleide Rodrigues | Isabel Cristina Moroz-Caccia Gouveia

## 3.1 Perspectiva geomorfológica na análise das intervenções antrópicas nas paisagens

Alguns estudiosos de Geomorfologia, destacando-se os que aplicam esse conhecimento das Ciências da Terra aos mais diversos instrumentos de planejamento e gestão territorial, vêm dedicando esforços no sentido de fazer uso dos principais instrumentais para discriminar os efeitos das ações humanas nas paisagens.

A ideia central assumida pela maioria deles é a de que a avaliação das mudanças ou dos níveis de perturbação física das paisagens e a descoberta de seus principais agentes possam ser, ao menos em grande parte, realizadas ao se utilizar o repertório, linguagem e instrumental analítico da ciência geomorfológica, tendo em vista a natureza de seu objeto e a delimitação de seu campo.

Frequentemente, assume-se que a Geomorfologia se dedica ao estudo das formas, dos materiais e dos processos da superfície terrestre, tomados em suas múltiplas escalas espaçotemporais e em suas relações espaciais tridimensionais.

Esse campo, assim definido, pressupõe que seria comum a consideração do fator antrópico nos diversos estudos geomorfológicos e que o grau de desenvolvimento de suas abordagens para a consideração desse fator, ou agente, já estivesse suficientemente consolidado no estudo de paisagens físicas. De fato, não se pode afirmar que essas concepções sejam novas e diversos esforços foram realizados ao longo do tempo no sentido de desenvolver tais abordagens e inclusões. Autores como Gregory (2006) são enfáticos ao destacar a importância de estudos como os de Marsh (1894) – Man and nature or physical geography as modified by human action – e da série de estudos reunidos na Conferência Internacional ocorrida em Princeton, em 1955, que acabou por



espacial de áreas de maior suscetibilidade a escorregamentos em vertentes do meio tropical úmido.

O caso do escorregamento rotacional da favela Nova República, no município de São Paulo, ocorrido em 1989, é destaque para essa conclusão. Ele ilustra a importância das variáveis antropogênicas na deflagração do escorregamento, considerando, associadamente, aspectos geométricos e tendências de mecanismos originais na parte superior do sistema com aspectos geomorfológicos da própria constituição do aterro, criando combinações específicas ou recorrentes entre formas originais (suas tendências de processos) e formas antropogênicas.

O mesmo tipo de raciocínio se aplica aos subsistemas fluviais, como planícies e canais aluviais, em que às tendências espaciais de processos originais são acrescidas novas tendências da morfologia antropogênica, como no caso do parque Villa-Lobos.

Embora planícies de inundação sejam áreas sujeitas a inundações periódicas, suas morfologias internas (diques, backswamps, cinturões meândricos etc.) apresentam dinâmica diferenciada. Nesses subsistemas, a frequência e a própria duração da inundação são diferenciadas, assim como a própria estabilidade do terreno (Rodrigues, 1997). A essas diferenças morfológicas e hidrodinâmicas, por vezes, grandes volumes de aterros heterogêneos são acrescidos, criando-se combinações singulares.

## 3.3 GEOMORFOLOGIA URBANA: FASES DA URBANIZAÇÃO, MODALIDADES DE INTERVENÇÃO E PROCESSOS ASSOCIADOS

As principais obras de Geomorfologia Urbana apresentam orientações no sentido de identificar estágios de urbanização que possam significar modalidades relevantes de mudanças nos processos hidromorfodinâmicos, tais como estágio pré-urbano, estágio inicial de urbanização e estágio de consolidação urbana (Nir, 1983; Toy; Hadley, 1987; Douglas, 1983; Rodrigues, 1997).

Segundo esses autores, o estágio pré-urbano é a fase na qual as características morfológicas e das formações superficiais e solos ainda não sofreram mudanças significativas por intervenções antrópicas, estando preservado o tipo de balanço de processos no sistema, ainda que algumas taxas possam ter sido modificadas.



Resíduos sólidos heterogêneos, com ou sem matéria orgânica, posicionados em cabeceiras de drenagem ou em planícies de inundação são combinações diversas que resultarão em processos próprios, interessando, portanto, o reconhecimento de padrões recorrentes.

Os exemplos da favela Nova República e do Parque Villa-Lobos em São Paulo são representativos dessas combinações entre a morfologia original e antropogênica (morfologia complexa) e de seus processos particulares.

## 3.4 EXEMPLOS DE INTERVENÇÕES URBANAS, PRODUÇÃO DE MORFOLOGIA COMPLEXA E PROCESSOS ASSOCIADOS

Baseada em estudo conduzido pela metodologia de avaliação do impacto humano da urbanização de Rodrigues (2004, 2005), Moroz-Caccia Gouveia (2010) representou e mensurou cartograficamente combinações MO/MA=MC (Morfologia Original/Morfologia Antropogênica = Morfologia Complexa) e suas evoluções ao longo de aproximadamente 100 anos, avaliando tendências de processos hidromorfodinâmicos na bacia hidrográfica do rio Tamanduateí.

De acordo com a autora, os elementos de vertentes originalmente dotados de geometria convexa permanecem no meio urbano com a tendência geral em dispersar fluxos hídricos, assim como os dotados de geometria côncava permanecem com a tendência geral em concentrar esses fluxos. No entanto, essas tendências podem ser potencializadas ou atenuadas na presença das intervenções típicas da urbanização, podendo até gerar outros tipos de fluxos em função das intervenções e da posição delas no sistema vertente.

As áreas em estágio intermediário de urbanização, com morfologia original convexa nas partes superiores das vertentes podem apresentar, em vez do escoamento difuso e da tendência à infiltração, o aumento da tendência de escoamento superficial concentrado e da mobilização de sedimentos, sobretudo em função da ausência de pavimentação nas ruas e ausência ou deficiência de sistemas de microdrenagem e saneamento.

Nessas morfologias, as áreas em estágio final de urbanização, altamente impermeabilizadas e, geralmente, dotadas de infraestrutura urbana, mudariam sua tendência para fluxos de escoamento superficial concentrado, potencializadores de fluxos torrenciais em posições médias e inferiores na vertente.



Fig. 3.4 Sequência histórica de intervenções na favela Nova República, São Paulo/SP

Fonte: Rodrigues (1984/1989) Desenho: Rodrigues de Lima (2003).

A combinação de morfologia original e antropogênica, descrita a seguir, é representativa em vastas áreas no município de São Paulo. Guiando-se pelos procedimentos da cartografia geomorfológica retrospectiva e evolutiva de Rodrigues (2004) e pela abordagem histórica em geomorfologia (Gurnell; Peiry; Petts, 2003; Trimble, 2008; dentre outros), foram reconhecidos os sistemas geomorfológicos originais, suas tendências em termos de processos hidrodinâmicos e a sequência histórica de intervenções sobrepostas a essa morfologia original, com processos associados típicos.

Tratava-se originalmente de planícies fluviais meândricas holocênicas, com vastas áreas aplainadas, sujeitas a inundações mais ou menos frequentes e lençol freático próximo à superfície (média de 1,5 m), com conteúdos materiais bem característicos, variando entre argilas orgânicas moles (bacias de decantação, backswamps e lagos em ferradura de meandros abandonados) e areias de textura média nos cinturões meândricos de canais ativos ou subatuais. (Figs. 3.5 e 3.6)

As Figs. 3.5 a 3.12 ilustram a sequência de intervenções antropogênicas que ocorreram de forma a destruir as morfologias originais, desde a década de 1930. Nessa década, houve o processo de retificação e inversão do sentido do curso do rio Pinheiros, como parte das obras de implantação da represa Billings e da usina hidrelétrica Henry Borden, que foram intervenções contemporâneas da exploração mineral de areia. Nas décadas seguintes, houve continuidade na





**Fig. 3.9** A foto ilustra a descontinuidade morfológica da planície de inundação original e o terraço antrópico com materiais tecnogênicos de alturas médias de quatro metros Fonte: Acervo do Parque Villa-Lobos (década de 1980).



**Fig. 3.10** A foto ilustra o tratamento paisagístico para a instalação e funcionamento do Parque. Notar a altura de aproximadamente 3,5 m de aterro acima do leito da rua Foto: Justiniano (2006).

#### O papel das geotecnologias no estudo de feições erosivas e de movimentos de massa no Brasil

Hugo Alves Soares Loureiro | Stella Mendes Ferreira

Movimentos de massa e erosão de solos são fenômenos comuns na realidade brasileira e podem ocasionar danos irreversíveis. Esses fenômenos se constituem como um dos principais agentes de modificação da paisagem, estando relacionados a processos de desgaste da superfície do terreno com a remoção e transporte de grãos minerais, e são responsáveis, com outros processos naturais, pela contínua modelagem das formas de relevo (Souza et al., 2011).

De acordo com Guerra (2010), a erosão dos solos é considerada um dos maiores riscos naturais, por causa dos grandes danos econômicos, ambientais e sociais que provoca, e, quando ocorre sob a forma de erosão em canais, como ravinas e voçorocas, leva à destruição ou à inoperância de diversas atividades antrópicas, como estradas, dutos, edificações, barragens etc.

Para Fernandes et al. (2001), movimentos de massa são processos desencadeantes nas encostas, decorrentes da atuação integrada de diversos fatores condicionantes, e caracterizados pelo movimento gravitacional de material, descendente e para fora da encosta.

Conhecer a dinâmica dos processos erosivos e dos fatores condicionantes dos movimentos de massa é de extrema relevância para um planejamento e gestão ambiental eficaz, uma vez que a compreensão da gênese e abrangência desses fenômenos se faz essencial para mitigar as perdas materiais e humanas que eles geram.

Buscando encontrar alternativas para minimizar impactos decorrentes desses fenômenos, são cada vez mais comuns estudos que lançam mão de geotecnologias, para predizer áreas vulneráveis ao desencadeamento de processos erosivos e de movimentos de massa e para mapear temporalmente as áreas atingidas por eles.

De acordo com Souza et al. (2011), técnicas ligadas ao geoprocessamento emergem com sucesso enquanto ferramentas para avaliação de perda dos solos



massa, a disponibilidade de fotografias aéreas e imagens de satélites possibilita o monitoramento temporal da evolução das feições em questão.

Para Simon e Cunha (2008), o conjunto de informações históricas provenientes da avaliação temporal da interferência antrópica tem grande relevância para estudos acerca dos processos erosivos e dos movimentos de massa, uma vez que proporciona respaldo à compreensão da gênese de muitos distúrbios que ocorrem sobre os processos geomorfológicos, contribuindo para a organização de medidas que permitem a reversão ou contenção de determinados impactos ambientais.

Visando a contribuir para a discussão da importância da utilização das geotecnologias em estudos de erosão dos solos e movimentos de massa no Brasil, este capítulo se propõe a debater sobre a aplicação das técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto na pesquisa do tema central deste livro. Para isso, são apresentados os principais instrumentos de sensoriamento remoto e o Sistema de Informação Geográfica (SIG), que possibilitam a relação entre feições geomorfológicas e a ocorrência dos movimentos de massa e erosão dos solos no Brasil. Com levantamentos sistemáticos em anais de eventos ocorridos nos últimos anos e da apresentação de estudos de caso, buscou-se evidenciar a relevância de aplicações das geotecnologias para estudos mais precisos acerca do tema proposto.

#### 4.1 GEOTECNOLOGIAS:

#### INSTRUMENTOS E FERRAMENTAS DE TRABALHO

Imagens obtidas de fotografias aéreas, satélites e/ou radar têm sido amplamente utilizadas para diversos fins. É irrefutável que o processamento, interpretação e posterior análise dessas imagens vêm se mostrando como instrumentos cada vez mais relevantes para o estudo dos processos erosivos, dos movimentos de massa e de áreas degradadas.

A vasta disponibilidade de sensores remotos, mais o grande acervo de fotografias aéreas existentes, ao mesmo tempo que proporciona um leque maior de opções para o usuário do SIG, requer cautela para garantir que o sensor ou fotografias aéreas selecionadas sejam as mais adequadas para o estudo pretendido.

Se por um lado as fotografias aéreas, muito utilizadas em estudos ambientais até a última década, permitiam alcançar uma escala maior de detalhes



por, geralmente, apresentarem maior resolução espacial (tamanho do *pixel*), a ausência de resolução espectral e radiométrica dificulta análises mais apuradas, tais como determinação do tipo de solo ou presença de matéria orgânica. Fitz (2010) indica que essas são preferencialmente interpretadas pela capacidade de análise do fotointerpretador em termos de comparação com os elementos reais naturais.

Em razão das possibilidades de resolução espectral, as imagens de satélite permitem o uso de ferramentas mais sofisticadas (Fitz, 2010), com um eficiente processamento digital de imagens (PDI), definido por Barros (2006) como "técnicas utilizadas para tornarem as imagens apropriadas ao uso, fazendo correções e calibragens que as tornem aptas a atender certos graus de existência ou tolerância".

De acordo com esse autor, fazem parte do PDI desde ferramentas mais simples, como georreferenciamento e manipulação de contraste, até as mais complexas, como transformações espectrais e uso do modelo de mistura. O PDI tem como principal objetivo fornecer ferramentas para facilitar a identificação e a extração das informações contidas nas imagens, para posterior interpretação (Silva, 2001), e pode ser feito por meio de inúmeros softwares comercializados no Brasil, tais como o ArcGIS, Envi, Idrisi e E-Cognition.

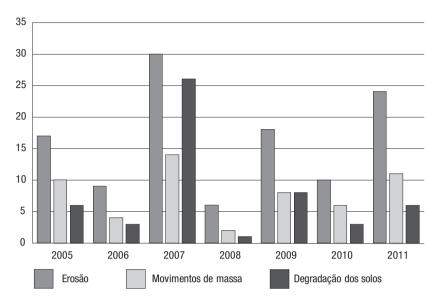
Enquanto a aquisição desses programas pode representar um custo elevado à pesquisa, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe) oferece, gratuitamente, o Spring, software brasileiro que possibilita uma série de manipulações do dado digital.

Uma das principais funções do PDI é a classificação digital das imagens, que consiste na "extração de informação em imagens com o objetivo de reconhecer padrões e objetos homogêneos" (Inpe, 2008 apud Reis et al., 2009).

Com a classificação digital de imagens, é possível identificar, de forma automática ou semiautomática, feições erosivas e/ou cicatrizes de movimentos de massa de uma grande extensão de terra, em um intervalo de tempo bastante inferior ao que seria gasto na identificação manual, fato que representa uma grande vantagem para a recuperação de áreas degradadas, considerando a urgência em minimizar danos provocados por deslizamentos e/ou erosão acelerada.

O crescente aumento da resolução espacial dos sensores fez com que novos procedimentos de classificação surgissem, utilizando informação espacial





**Fig. 4.3** Distribuição dos trabalhos de acordo com os temas apresentados ano a ano, para os simpósios levantados (Sinageo, SBGFA e SBSR)

quantidades registradas, nessa pesquisa, para "erosão dos solos", com 25 trabalhos, "degradação dos solos" com 21, e apenas oito para "movimentos de massa".

**TAB. 4.2** Quantidade dos trabalhos por tema e ano de cada simpósio

Ano	Simpósio	Erosão	Movimentos	Degradação	Total
			de massa	dos solos	
	SBGFA	12	7	5	24
2005	SBSR	5	3	1	9
2006	Sinageo	9	4	3	16
	SBGFA	25	8	21	54
2007	SBSR	5	6	5	16
2008	Sinageo	6	2	1	9
	SBGFA	8	5	6	19
2009	SBSR	10	3	2	15
2010	Sinageo	10	6	3	19
	SBGFA	9	8	1	18
2011	SBSR	15	3	5	23
Total	11	114	55	53	222



Pode-se dizer que esse tipo de análise, por meio da pesquisa de trabalhos e/ou artigos de determinada área do conhecimento, não contempla plenamente toda a produção acerca do assunto pesquisado, porque considera algumas características em detrimento de outras. Contudo, dentro do tema proposto neste capítulo, permite uma visão recente das tendências de uso dessas ferramentas tão importantes.

## 4.3 APLICAÇÃO DE GEOTECNOLOGIAS EM ESTUDOS DE MOVIMENTOS DE MASSA E PROCESSOS EROSIVOS

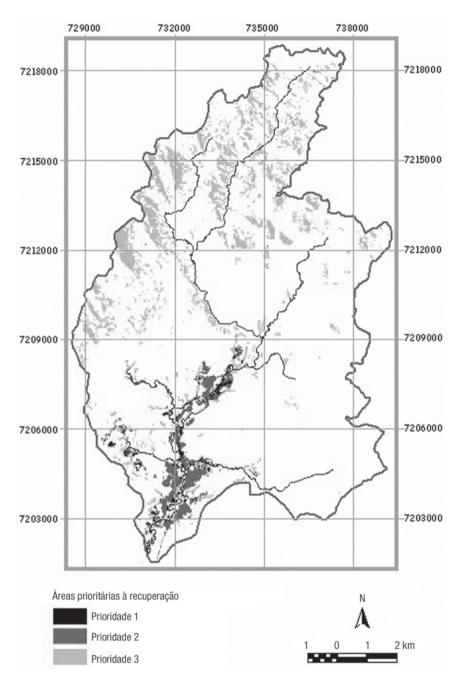
A pesquisa em anais de eventos, em um dado período de tempo, traz a possibilidade de encontrar continuações de trabalhos, com novas adaptações e melhorias. Pinto et al. (2006, 2007) são um exemplo disso, ao realizarem estudos de caráter temporal sobre feições erosivas e escorregamentos em duas bacias de drenagem no município de Volta Redonda/RJ, tributárias do rio Paraíba do Sul. Seguindo a de Oliveira e Meis (1985 apud Pinto et al., 2007) e Oliveira (1989 apud Pinto et al., 2007), buscou-se, basicamente, identificar padrões das feições erosivas, dos escorregamentos e suas relações com as intervenções antrópicas de transformação dos sistemas de drenagem.

Para alcançar esse objetivo, foram mapeadas as feições encontradas por fotografias aéreas de 1966, 1979 e 1999 – este último ano por meio digital – em diferentes escalas (1:60.000, 1:40.000 e 1:5.000, respectivamente), com utilização do software Arc View 3.2a para a delimitação, identificação e mapeamento das feições de erosão e de escorregamentos nas fotografias aéreas por meio digital.

Em Pinto et al. (2007) abandonou-se a classificação das feições como "permanentes", "novas" e "estabilizadas" adotada em Pinto et al. (2006), deixando mais clara a ocorrência de cada feição em termos não apenas absolutos, como também relativos, de acordo com as datas mapeadas e os parâmetros estabelecidos.

No primeiro estudo, foram contabilizados um total de 226 e 305 feições nas bacias do Ribeirão Brandão e córrego Santa Rita, respectivamente. No segundo, esses números subiram para 282 e 335, respectivamente.

O principal tipo de feição indicado pelos dois estudos foram as voçorocas desconectadas em seções expostas, que representam justamente a ação erosiva sobre materiais de solo exposto.



**Fig. 4.4** Carta de Suscetibilidade à Erosão e Movimentos de Massa

Fonte: Paula e Cunico (2008).

5

#### O papel do clima nos estudos de prevenção e diagnóstico de riscos geomorfológicos em bacias hidrográficas na Zona da Mata Sul de Pernambuco

Osvaldo Girão | Antônio Carlos de Barros Corrêa Ranyére Silva Nóbrega | Cristiana Coutinho Duarte

Apesar dos avanços tecnológicos contemporâneos voltados para o reconhecimento das forças da natureza, a vulnerabilidade dos seres humanos aos eventos naturais extremos, sobressaindo-se os de natureza meteorológica, nos faz refletir acerca da necessidade da apreensão e compreensão dos fenômenos relacionados às chamadas anormalidades climáticas, com destaque para os impactos pluviais, entendidos enquanto eventos que fogem a um comportamento esperado para o ritmo climático considerado normal.

Ao abordar a necessidade da prevenção a desastres naturais dependentes do clima, devemos avaliar, além dos condicionantes climáticos e geológico-geomorfológicos, que devem ser considerados quando da ocorrência das chamadas disritmias pluviais, as formas de uso e ocupação dos espaços pelos seres humanos, as quais constituem um fator que agrava a ocorrência de eventos climáticos extremos, pois aceleram consequências adversas para as populações afetadas.

A convivência com perigos que cada ambiente pode proporcionar, percebidos como iminentes – como deslizamentos e inundações –, são exemplos de incidentes a que um indivíduo ou uma comunidade estão sujeitos pela associação de riscos naturais com os decorrentes de processos agravados pela ocupação de espaços suscetíveis a eles (Monteiro, 1996; Veyret, 2007).

A região da Zona da Mata Sul de Pernambuco foi afetada por um evento pluvial extremo, no período entre 16 e 19 de junho de 2010, quando os rios Una e Sirinhaém superaram níveis históricos de vazão em suas respectivas bacias, provocando uma rápida elevação da lâmina d'água e o consequente extravasamento do leito desses dois rios, o que levou à inundação de áreas urbanas.



risco geomorfológico, porque afeta, de forma abrangente, a população da região, sobressaindo-se, como área repetidamente atingida por tais eventos, a bacia do rio Una, na Zona da Mata Sul do Estado.

Quanto às inundações, elas são causadas pelo intenso e excessivo índice de precipitação pluvial que atinge a área como resposta à ação de mecanismos atmosféricos, que atuam individualmente ou em conjunto, e esse é o principal fator controlador do desencadeamento de tais eventos (Goudie, 2006; Ayala; Goudie, 2010)

Além das condições climatometeorológicas regionais, conforme Ayala e Goudie (2010), deve-se considerar que as características de eventos de inundação são influenciadas por uma série de fatores relativos à própria organização espacial da área interfluvial, como: 1) morfometria da rede de drenagem; 2) condições de infiltração do solo nas encostas e divisores; 3) aspectos geológicos concernentes à estrutura tectônica e erodibilidade da superfície; e 4) vegetação e práticas de uso da terra.

## 5.2 O ARCABOUÇO GEOMORFOLÓGICO DA ZONA DA MATA DE PERNAMBUCO

A faixa litorânea úmida, de largura variável, com cerca de 180 km de extensão, em direção grosseiramente NNE-SSW, que compõe a Zona da Mata de Pernambuco apresenta variados arranjos de paisagens físicas, como resposta a uma sucessão hierarquizada de controles espaciais que vai do contexto tectônico regional, passa pela distribuição de litótipos diferenciados e chega à distribuição diversificada de padrões climáticos, criando um mosaico de arranjos de formas, em uma área de extensão geográfica que não excede os 10 mil km².

O saliente nordestino possui uma das linhas de costa mais jovens do continente. Enquanto ao sul e ao norte do extremo leste do Nordeste já existia uma costa oceânica desde o Cretáceo Inferior, a separação completa com a África desse setor só se completou no Cretáceo Superior, menos de 100 Ma AP. O trecho final dessa ligação era sustentado pelo bloco compreendido entre os lineamentos Paraíba, ao norte, e Pernambuco, ao sul, os dois de direção geral E-W, que se prolongam também pelo continente africano.

Essa faixa é uma zona de cisalhamento dextral, de idade pré-cambriana, com predomínio de afloramento de milonitos ao longo da zona de falha. Em

#### 138

#### **5.2.2** Cimeira estrutural Pernambuco-Alagoas

Trata-se da porção meridional do planalto da Borborema que corresponde aos compartimentos elevados acima dos 200 m, estruturados sobre os litótipos do maciço Pernambuco-Alagoas. Nas bacias dos rios Una e Sirinhaém (Fig. 5.2), apresentam três subunidades identificáveis, com base nos níveis de dissecação vertical da paisagem e relações morfológicas dos topos:

- ♦ Cimeira estrutural dissecada: colinas médias (distância interfluvial entre 150 m e 350 m), de topos convexos e aguçados, com amplitude entre 45 m e 69 m em relação aos níveis de base adjacentes e dissecação diferencial. Essa unidade ocorre a montante de desnivelamentos escarpados de até 350 m, apresentando recorrência de trechos de canais confinados e segmentos não confinados, ou semiconfinados, com estreitas planícies aluviais com níveis de terraços fluviais;
- ♦ Cimeira estrutural conservada: colinas convexas baixas e amplas (distância interfluvial maior que 350 m), com recorrência de amplitude altimétrica inferior a 30 m, recortada por cursos de drenagem não confinados, ou semiconfinados, ladeados por planícies aluviais estruturadas em terraços fluviais;
- ♦ Escarpa: é o limite oriental da cimeira estrutural Pernambuco-Alagoas, caracterizado pelas classes hipsométricas entre 160 m e 350 m, apresentando cimeiras com relevo em colinas médias (150 m a 350 m de distância interfluvial), convexas, aguçadas, de amplitude entre 45 m e 69 m, e dissecação diferencial, separadas em patamares basculados para SE e



Fig. 5.2 A) Cimeira estrutural conservada; B) cimeira estrutural dissecada

#### 142

## 5.3 DINÂMICA CLIMÁTICA SOBRE A ZONA DA MATA PERNAMBUCANA E O EVENTO PLUVIAL EXTREMO DE 16 A 19 DE JUNHO DE 2010

A localização latitudinal da Zona da Mata de Pernambuco confere-lhe temperaturas estáveis ao longo do ano, com amplitude térmica anual de no máximo 5 °C. Tais condições térmicas se devem à sua localização na zona intertropical, na faixa de maior incidência solar do planeta, na qual as temperaturas praticamente são constantes entre os meses de verão e inverno, sendo de 25 minutos a diferença entre o dia com mais horas de sol, no verão, e o com menos horas de sol, no inverno (Corrêa, 2004).

A costa oriental do Nordeste se constitui em uma região sob influência, ao longo da maior parte do ano, da massa tropical atlântica (mTa), caracterizada como uma massa tropical quente e úmida por conta de sua área de origem, sobre o Atlântico Sul, derivada da célula de alta pressão subtropical (o anticiclone semifixo do Atlântico Sul).

Os ventos de SE e E, que sopram do anticiclone subtropical rumo ao equador térmico e atingem a Zona da Mata de Pernambuco, praticamente em todos os meses do ano, adquirem umidade ao transitar sobre o oceano, depositando-a inicialmente sobre a faixa costeira oriental do Nordeste e penetrando até a escarpa oriental do planalto da Borborema (Corrêa, 2004; Girão; Corrêa; Guerra, 2006).

Ao longo do ano, a influência da mTa sobre a costa e a Zona da Mata pernambucana sofre perturbações derivadas da circulação atmosférica secundária. Tais perturbações atmosféricas, na borda oriental do Nordeste do Brasil, alteram as condições de tempo dominantes, e estão associadas ao deslocamento da zona de convergência intertropical (ZCIT) para o sul, ocorrência de vórtices ciclônicos (VC) de alta troposfera, avanços de frentes frias (FF), bem como aos sistemas ondulatórios de leste ou distúrbios ondulatórios de leste (DOL), com a consequente formação de linhas de instabilidade (LI), todas caracterizadas pela instabilidade e por índices moderado a forte de precipitação pluviométrica.

No referente à ZCIT, esta corresponde à expansão para o hemisfério sul da zona de ascensão dos alísios por convecção térmica sobre o equador térmico, expansão que pode deslocar-se até 12° sul (cidade de Salvador/BA), atingindo o Recife no período compreendido entre meados da primavera e

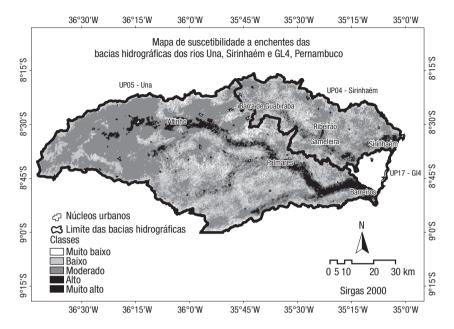


Fig. 5.6 Mapa de suscetibilidade a enchentes nas bacias dos rios Una, Sirinhaém e GL4

No baixo curso da bacia, o sítio urbano de Sirinhaém é pouco afetado com as inundações, em função de se localizar sobre encostas e topos do relevo colinoso. No entanto, apresenta evidências de problemas com movimentos de massa, além do que as estradas que seguem para algumas localidades (como Aver-o-mar) são afetadas pela inundação, porque se localizam em áreas baixas e planas.

As cidades de Barra de Guabiraba e Gameleira também têm registrado problemas com inundações, fato que pode ser demonstrado no mapa, tendo essas áreas apresentado valores de intermediário a muito alto risco de inundações, sobretudo em função da grande área de contribuição.

Em relação à bacia hidrográfica do rio Una, os maiores riscos de inundação ocorrem ao longo do canal principal. No alto curso da bacia, observa-se que os municípios de Cachoeirinha e Altinho apresentam alto risco de inundação pela baixa declividade do relevo e características físicas dos solos locais (planossolos), com drenagem deficiente e forte gradiente textural ao longo do perfil.

A despeito de essas localidades apresentarem as mais baixas precipitações pluviais médias na bacia, com valores entre 436 mm e 700 mm anuais,

6

## Erosão costeira, mudança do clima e vulnerabilidade

#### Dieter Muehe

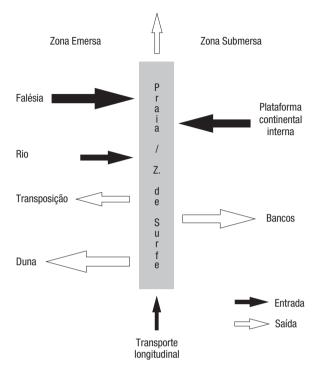
Antes do desenvolvimento do conceito de gerenciamento costeiro como estratégia de planejamento do uso do espaço costeiro – considerando a integração de características físicas e socioeconômicas como a compreendemos atualmente –, os problemas associados à erosão costeira já eram tratados por geógrafos e geólogos como o principal objetivo do gerenciamento costeiro, ou seja, visando essencialmente à proteção costeira.

A ocupação cada vez mais acelerada da zona costeira – com construções muito próximas do limite com a praia – fez com que a percepção de risco associado a processos erosivos, antes limitados a segmentos relativamente pequenos do litoral, se tornasse mais generalizada. Ao mesmo tempo, as previsões de mudanças climáticas – com cenários de elevação do nível do mar e aumento da recorrência de eventos extremos – passaram a fazer parte do conhecimento geral, como elementos de aceleração desse risco.

Apesar de a ocorrência da erosão costeira não estar associada apenas a uma elevação do nível do mar, ela representa uma força que desencadeia um ajustamento morfodinâmico, cujo resultado é, na maioria das vezes, um recuo da linha de costa.

Uma estimativa da população atingida mundialmente pela elevação do nível do mar em 1 m avalia que 146 milhões de pessoas seriam afetadas, correspondendo a um custo da ordem de 1 trilhão de dólares de Produto Interno Bruto e mais 100 bilhões de dólares atribuídos a prejuízos diretos, ou seja, a soma da perda de áreas emersas e úmidas mais gastos com proteção costeira e custos de deslocamento da população (Anthoff et al., 2006). Estes últimos, de acordo com os autores citados, são de sete a 12 vezes superiores aos custos relacionados com uma elevação de 0,5 m.

Diante dos potenciais riscos sociais e econômicos que podem ser causados pelo ajustamento da linha de costa às alterações climáticas previstas, este



**Fig. 6.3** Entrada e saída (balanço) de sedimentos no sistema praia/zona de surfe

A construção de barragens e a tendência mais recente de aceleração da taxa de elevação do nível do mar, concomitantemente ao aumento da ocupação da zona costeira, convergem para a intensificação desse fenômeno.

Um levantamento detalhado do litoral brasileiro pelos grupos de pesquisa associados ao Programa de Geologia e Geofísica Marinha (PGGM), publicado pelo Ministério do Meio Ambiente (Muehe, 2006a) chegou a constatações semelhantes, no sentido de que segmentos sob efeito de erosão predomi-

nam em relação aos trechos em processo de progradação, com maior erosão nas praias, seguidos pelas falésias e estuários. Relativo aos estuários, os relatos sobre erosão e progradação se equivalem, entretanto em alguns estados, a erosão se concentra, principalmente, nas proximidades das desembocaduras fluviais estuarinas, a exemplo da costa de Santa Catarina e do Paraná (Muehe, 2006a).

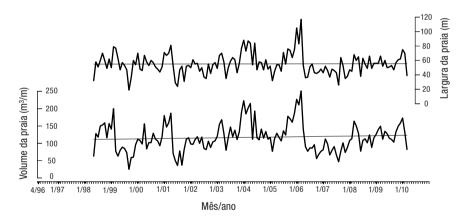
#### 6.2 DINÂMICA PRAIAL OU EROSÃO COSTEIRA?

As praias formam uma interface entre o mar e a terra firme que, pelo fato de ser composta por sedimentos, absorve parte da energia da onda, tanto por infiltração como por mudança de forma em perfil e em planta. Assim, o perfil transversal de uma praia ganha e perde sedimentos, de acordo com a incidência da onda sobre a costa e sua característica de esbeltez.

A obliquidade de incidência da onda faz com que a linha de arrebentação apresente um pequeno ângulo em relação à face da praia, o que induz ao



**Fig. 6.7** Erosão costeira na Barra de Maricá/RJ, causada por tempestade em maio de 2001. A escarpa da pós-praia recuou cerca de 8 m, destruindo muros e casas.



**Fig. 6.8** Variabilidade do volume e largura da praia de Massambaba/RJ ao longo de 14 anos de observações mensais consecutivas

uma compreensão adequada da morfodinâmica, como resposta aos processos costeiros e da tendência evolutiva histórica da orla costeira.

#### 6.3 ALGUNS EXEMPLOS DE TÉCNICAS DE LEVANTAMENTO

Naturalmente, é inviável, por razões de tempo e custo, o monitoramento continuado da orla costeira por meio de levantamento topográfico.





**Fig. 6.18** Flanco sul da planície deltaica do rio Paraíba do Sul/RJ. Destaca-se o truncamento das cristas de praia no lado esquerdo da imagem e na mudança de direção das desembocaduras fluviais, indicando mudanças na direção do transporte litorâneo Foto: IBGE.

## 6.5 TRANSPORTE LITORÂNEO E SEUS EFEITOS NO BALANÇO SEDIMENTAR

De modo geral, as praias se caracterizam pela resiliência a eventos extremos, ajustando-se, em perfil e em planta, ao transporte transversal e longitudinal de sedimentos induzidos pelas ondas. Tal adaptabilidade, no entanto, é condicionada pela disponibilidade de sedimentos.

184

da deriva litorânea, segundo Bittencourt et al. (2002), com transporte resultante para o norte; e o de transporte unimodal, de Pernambuco ao Amapá, com direção residual para norte ou noroeste, dependendo da orientação da linha de costa (Fig. 6.19).

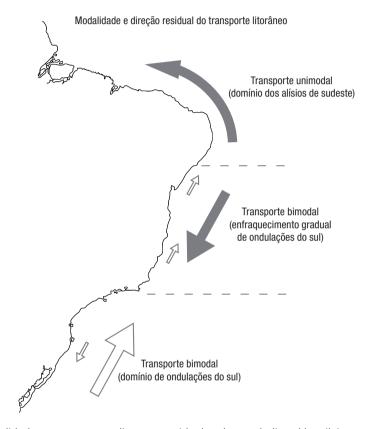


Fig. 6.19 Modalidade e transporte sedimentar residual ao longo do litoral brasileiro

Os segmentos com bimodalidade de transporte – decorrência das alternâncias entre o predomínio de ondas impulsionadas por ventos do quadrante nordeste e as ondas do quadrante sul, associadas à penetração de frentes frias – são, consequentemente, os mais vulneráveis, tanto por efeito de tempestades quanto da potencial intensificação e, até mesmo, inversão localizada do transporte longitudinal.

Este último afetando, potencialmente, os segmentos menos submetidos à ação de frentes frias, cujo efeito vai se reduzindo em direção ao nordeste,

#### Sobre os autores

Antônio Carlos de Barros Corrêa é doutor em Geografia pela Universidade Estadual Júlio de Mesquita Filho (Unesp/Rio Claro), pós-doutorado em Geomorfologia pela Universidade Estadual Júlio de Mesquita Filho (Unesp), pesquisador 1D do CNPq e professor-adjunto do Departamento de Ciências Geográficas da Universidade Federal de Pernambuco (biase2001@terra.com.br).

Cleide Rodrigues é doutora em Geografia Física pela USP, professora-doutora do Departamento de Geografia da USP e bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq – Nível 2 (cleidrig@usp.br).

Cristiana Coutinho Duarte é mestre em Geografia pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), doutoranda em Geografia pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) e professora temporária do Departamento de Ciências Geográficas da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) (crisdat@yahoo.com.br).

Dieter Muehe é doutor em Ciências da Natureza pela Universidade de Kiel (Alemanha) e professor titular (aposentado) do Departamento de Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, vinculado ao respectivo Programa de Pós-Graduação e pesquisador do CNPq (dieter.muehe@gmail.com).

Hugo Alves Soares Loureiro é bacharel em Geografia pela UFRJ, mestre em Geografia pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFRJ e pesquisador-associado do Lagesolos, do Departamento de Geografia da UFRJ (hugogeogr@gmail.com).

Isabel Cristina Moroz-Caccia Gouveia é geógrafa, doutora em Geografia Física pela USP, professora-doutora do Departamento de Geografia da Unesp/Presidente Prudente (icmoroz@fct.unesp.br).

192

José Fernando Rodrigues Bezerra é doutor em Geografia pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, com período sanduíche na Universidade de Wolverhampton (Inglaterra), e professor-adjunto do Departamento de Geografia da Uema (fernangeo@yahoo.com.br).

Osvaldo Girão é doutor em Geografia pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFRJ, e professor-adjunto do Departamento de Ciências Geográficas da Universidade Federal de Pernambuco (osgirao@gmail.com).

Ranyére Silva Nóbrega é doutor em Meteorologia pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) e professor-adjunto do Departamento de Ciências Geográficas da Universidade Federal de Pernambuco (ranysn@hotmail.com).

Stella Mendes Ferreira é mestre em Geografia pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFRJ, doutoranda em Geografia pelo mesmo programa e pesquisadora-associada do Lagesolos, do Departamento de Geografia da UFRJ (stellapmendes@yahoo.com.br).

A cada temporada de chuvas, os riscos de erosão acelerada do solo e movimentos de massa, particularmente em regiões mais íngremes, como as de serras e encostas em geral, atingem cotidianamente as populações que as ocupam, tanto no meio urbano como no rural.

Profissionais envolvidos com a gestão e estabilização das áreas de risco, atuantes em órgãos públicos, consultorias e pesquisas acadêmicas, poderão se valer dos conceitos, métodos e aplicações apresentados nesta obra para melhor desenvolver o estudo, o controle e a prevenção desses processos.

Amplamente ilustrada e com exemplos práticos nacionais e internacionais, *Processos erosivos e recuperação de áreas degradadas* discute temas como Bioengenharia na recuperação de áreas degradadas; geotecnologias no estudo de feições erosivas e movimentos de massa; modelagens; fatores antrópicos e climáticos nos processos geomorfológicos; e, com abordagem inovadora, fechando o livro com chave de ouro – erosão costeira: tema raramente abordado nos foros acadêmicos e profissionais, apesar de relevante ao longo dos 8.000 km de costa que o País ostenta. Uma importante referência para estudantes, pesquisadores, reguladores e profissionais das áreas de Geografia, Geologia, Engenharia, Arquitetura e Urbanismo, Biologia e Ecologia.

