

## PROCESSOS EROSIVOS: DINÂMICA, AGENTES CAUSADORES E FATORES CONDICIONANTES

## EROSIVE PROCESSES: DYNAMICS, CAUSING AGENTS AND CONDITIONING FACTORS

## PROCESOS EROSIVOS: DINÁMICA, AGENTES CAUSANTES Y FACTORES CONDICIONANTES

Felipe Ferreira Oliveira<sup>1</sup>

Ramon Eduardo Salles dos Santos<sup>2</sup>

Rodrigo da Cruz de Araujo<sup>3</sup>

**Resumo:** Processos erosivos têm se mostrado eficazes modificadores da paisagem e têm sido objeto de estudo de diversas áreas do conhecimento. A erosão é um fenômeno complexo, uma vez que envolve a ação direta ou indireta de diversos fatores, tais como tipos de solos, clima, vegetação e interferência humana. O estudo de sua dinâmica, agentes desencadeadores e fatores condicionantes é uma importante ferramenta para uma tomada de decisão, pois serve como auxílio no equacionamento entre a demanda de uso do solo e as perdas por erosão. Procura-se apresentar aqui uma revisão sobre o tema, colaborando para o entendimento de tal fenômeno.

**Palavras-chave:** Erosão. Solo. Geomorfologia. Voçorocas.

**Abstract:** Erosive processes have proven to be effective modifiers of the landscape and have been studied from different areas of knowledge. Erosion is a complex phenomenon, since it involves direct or indirect action of various factors such as soil types, climate, vegetation and human interference. The study of its dynamics, triggering agents and conditioning factors, is an important tool for decision-making, as it serves as an aid in the equating between the land use demand and the erosion losses. We try to present here a review of the subject, contributing to the understanding of this phenomenon.

**Keywords:** Erosion. Soil. Geomorphology. Gully.

**Resumen:** Los procesos erosivos se han mostrado eficaces modificadores del paisaje y han sido objeto de estudio de diversas áreas del conocimiento. La erosión es un fenómeno complejo, ya que implica la acción directa o indirecta de diversos factores, tales como tipos de suelos, clima, vegetación e interferencia humana. El estudio de su dinámica, agentes desencadenantes y factores condicionantes es una importante herramienta para una toma de decisión, pues sirve como ayuda en la ecuación entre la demanda de uso del suelo y las pérdidas por erosión. Se busca presentar aquí una revisión sobre el tema, colaborando para el entendimiento de tal fenómeno.

**Palabras-clave:** Erosión. Suelo. Geomorfología. Barrancos.

Envio 10/04/2017

Revisão 02/05/2017

Aceite 19/07/2017

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Civil. Universidade Federal do Maranhão. E-mail: felirreira@gmail.com

<sup>2</sup> Graduando em Engenharia Civil. Universidade Federal do Maranhão. E-mail: ramonduardosalles@gmail.com

<sup>3</sup> Doutor. Professor do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Maranhão. E-mail: araujo.rodrigo@ufma.br

## Introdução

O solo é fundamental ao desenvolvimento de diversas atividades humanas. Sobre o solo, o ser humano planta, edifica moradias, transporta, extrai matéria prima, vive e etc. Há, porém, diversos usos ou atividades que implicam a degradação do solo.

A degradação do solo é um dos maiores problemas ambientais da atualidade, e acontece em todas as regiões do planeta. O resultado é um mal direto e indireto ao ser humano: direto pelo fato de que fez e faz de pessoas que moram em zonas instáveis vítimas de enxurradas e desabamentos de terra; indireto pelo desequilíbrio nos ecossistemas que o empobrecimento do solo acarreta.

Um dos fatores de desgaste que mais seriamente tem contribuído para a degradação do solo é a erosão. Naturalmente o solo sempre está sendo erodido em um processo contínuo que pode demorar, em alguns casos, muito tempo (dezenas, centenas, milhares de anos...) para modificar significativamente a paisagem ou interferir no “equilíbrio” do meio ambiente. Todavia, com a ação catalisadora do homem essa escala de tempo pode encurtar drasticamente para alguns anos ou até meses, conforme pode ser observado em diversas atividades tais como o desmatamento, ocupação urbana sem planejamento, exploração de recursos naturais, construção de estradas e barragens, produção agrícola que ataca a camada superficial do solo. Todas essas atividades geram impactos, às vezes irreversíveis, que podem acarretar em prejuízos de ordem ambiental, econômica, social e cultural.

Processos erosivos têm se mostrado, então, ao longo do tempo e em diferentes localidades, como eficazes modificadores da paisagem e, dessa forma, tem sido objeto de estudo de diversas áreas do conhecimento, tais como a geografia e a geotecnia.

A erosão é um fenômeno bastante complexo, uma vez que envolve a ação direta ou indireta de diversos fatores, tais como as características geológicas e geomorfológicas, os tipos de solos, clima, vegetação, além da interferência humana que modifica as condições naturais de cada um deles.

Devido à complexidade do processo, o qual envolve diversos mecanismos e condicionantes, a erosão tem sido tema de pesquisas em diversas áreas, principalmente agronomia, geologia, geografia e geotecnia. Entretanto, apesar de todos os estudos já desenvolvidos, o entendimento do processo ainda não é completo.

Tem-se, então, como objetivo deste trabalho contribuir para um melhor entendimento dos diferentes processos erosivos, com base em uma abordagem envolvendo os agentes causadores diretos e os fatores condicionantes que interferem em tais processos.

### **Processos Erosivos**

Ao longo do tempo e sob várias circunstâncias, as rochas sofrem decomposição por conta de agentes físicos que resultam na desintegração, agentes químicos que alteram a composição e sua mineralogia, e agentes biológicos que dão intensidade às forças químicas e físicas. A todo esse processo de decomposição, dá-se o nome de intemperismo (Bertoni; Lombardi Neto, 2008). E assim se dá origem ao solo. Como expõe a Associação Brasileira de Normas Técnicas (1995) intemperismo é o “conjunto de processos que ocasionam a desintegração e a decomposição das rochas e minerais submetidos à ação dos agentes atmosféricos e biológicos”. Na formação do solo, podem-se destacar alguns fatores que são considerados principais, são eles: a atividade biológica dos organismos vivos, o clima, o material original, o tempo e a topografia.

62

A etimologia da palavra erosão é proveniente do latim *erodere*, que significa corroer, devorar, etc. e dessa forma são denominados todos os processos de desgaste realizados pelas águas, vento, geleiras que geram respectivamente as erosões hídricas, eólicas e glaciais. Portanto, a erosão é a realização de um trabalho e seu produto é o sulco, a voçoroca, etc. (Mortari, 1994).

Pastore (1986), Vilar e Prandi (1993), Marçal (1998) e Bertoni e Lombardi Neto (2008), por exemplo, conceituam o fenômeno de modo semelhante, descrevendo que erosão no seu sentido mais amplo é o processo geral ou grupo de processos através do qual os materiais terrosos ou rochosos da crosta terrestre são desagregados, dissolvidos ou desgastados, e transportados de um ponto a outro por agentes naturais, tais como rios, mares, vento e chuva.

Gray e Leiser (1989) e Guerra (1995) descrevem que a erosão consiste na remoção das camadas superficiais de solo e envolve os processos de destacamento (*detachment*) e transporte das partículas por agentes como vento, água e gelo.

O termo erosão neste trabalho refere-se à seguinte síntese das definições dos autores supracitados entendendo a erosão como: um processo (ou grupo de processos) que remove as camadas superficiais de solo e transporta-as através dos agentes erosivos, tais como rios, mares,

vento e chuva, principalmente a chuva e o vento nas regiões tropicais. A erosão ocorre em duas fases: remoção de partículas e transporte, efetuado pelos agentes erosivos.

Faz-se necessário distinguir os dois tipos desse processo: erosão acelerada e erosão geológica. Bertoni e Lombardi Neto (2008, p.73) explicam que a erosão geológica ou natural “se manifesta como uma ocorrência normal dos processos de modificação da crosta terrestre” sendo perceptível apenas no decorrer de períodos longos. Neste quadro de transformação o equilíbrio natural é mantido e o ritmo do processo é tal que a velocidade de remoção de partículas se equilibra com a de formação do novo solo. Explicação semelhante é dada pelo relato a seguir:

O solo é uma camada viva, em processo permanente de formação, através da alteração das rochas e de processos pedogenéticos. Este processo é contrabalançado pelo processo de erosão, que remove seus constituintes, sobretudo pela ação da água de chuva. Portanto, há um quadro dinâmico, no qual diversos processos atuam de forma contraditória, formando e erodindo o solo, refletindo certo equilíbrio na natureza, no qual a erosão é considerada normal. (Gomes, 2001, p. 38).

Portanto, quando a dinâmica de erosão e formação do solo é equilibrada, ou seja, o processo de formação compensa a erosão, se tem a erosão normal ou geológica.

Pode-se dizer que a erosão acelerada, então, é fruto de um desequilíbrio. Para Mortari (1994) esse desequilíbrio ocorre quando o processo erosivo suplanta o processo de formação dos solos (alteração das rochas e de processos pedogenéticos comandados por agentes físico, químicos e orgânicos, ocorrendo ao longo de centenas de anos). Bertoni e Lombardi Neto (2008) explicam que, nesses casos, os agentes erosivos podem vir a remover em poucos meses uma quantidade de material que a natureza levou séculos para formar.

Bertoni e Lombardi Neto (2008) expõem que o desequilíbrio, em geral desencadeado pela ação do homem, costuma estar relacionado ao uso inadequado do solo, como: desmatamento, crescimento urbano desordenado, agricultura, obras de grande porte (fábricas, barragens), etc.

Guerra (1995) cita alguns danos causados pela erosão, como por exemplo, a contaminação da água dos rios por partículas transportadas que venham a estar contaminadas (por defensivos agrícolas, por exemplo), e o assoreamento de mananciais. Gray e Leiser (1989) expõem que se os custos diretos causados pelos processos de erosão e sedimentação já incluem prejuízos bem identificáveis como a destruição de propriedades, os custos indiretos apresentam maiores dificuldades para serem avaliados, mas provavelmente são ainda maiores. Entre estes últimos, pode-se citar: diminuição da produtividade agrícola; assoreamento de tubulações; solapamento de fundações e pavimentações; enchentes; assoreamentos de portos e canais; etc. A erosão dos solos em áreas urbanas, geralmente em áreas periféricas com solo descoberto, ocorrem com grandes prejuízos materiais e, por vezes, com perdas de vidas humanas (Guerra, 2011) resultado do crescimento urbano rápido e desordenado, ocupando o solo sem critérios técnicos que levam em consideração a dinâmica natural do local, principalmente no caso das encostas.

64

### Fatores Condicionantes

Para melhor compreensão do processo erosivo, é importante abordar as relações entre este e seus principais fatores condicionantes, quais sejam: clima, cobertura vegetal, natureza do solo e a topografia do terreno.

O clima será determinante principalmente nas características da intensidade, duração e distribuição das chuvas. Chuvas torrenciais ou pancadas de chuvas intensas representam as formas mais agressivas de atuação deste agente.

Assim, quanto à chuva, tem-se que a sua intensidade é o que mais influenciará na erosão. As gotas de chuva que chegam ao solo contribuem para o processo erosivo por três razões: desprendem partículas do solo na área que houve o impacto; transportam as partículas desprendidas (salpicamento ou splash); adicionam energia à água superficial. “A velocidade aumenta com o tamanho da gota e com a altura da queda” (Bertoni; Lombardi Neto, 2008, p.48). Vê-se que, em relação à chuva, o que influencia é a energia cinética com que as gotas d’água chegam à superfície, provocando os efeitos provenientes da dissipação de energia acumulada.

Outra influência deste fator é feita indiretamente, através da vegetação. Isto porque o clima será decisivo nas características naturais da cobertura vegetal, definindo o tipo de

proteção oferecida ao terreno. Esta proteção consiste na redução do escoamento superficial e na redução do impacto direto das gotas de chuva no solo, diminuindo assim a capacidade das águas de removerem e transportarem partículas do solo.

A respeito deste ponto, Vilar e Prandi (1993) descrevem como principais efeitos da vegetação a interceptação e retenção da chuva; a proteção do solo contra a atuação da gota e seu aumento de resistência ao escoamento superficial, com consequente deposição das partículas por interceptação ou redução de velocidade; e a retenção e aglutinação do solo pela ação das raízes. Guerra (1995) e Santiago (1999) corroboram com tais considerações, acrescentando ainda o papel da vegetação na formação do húmus, que afeta a estabilidade e o teor de agregados.

É importante, porém, atentar para o fato de que muitas vezes as características naturais da vegetação não se encontram preservadas, devido à atuação humana. Nestes casos, o fator vegetação não mais estará relacionado ao clima, mas continuará, obviamente, representando grande influência no processo (Araujo, 2000).

O tipo de solo é determinante nos processos erosivos devido à maior ou menor facilidade que apresentem de serem erodidos. Esta susceptibilidade à erosão, chamada de erodibilidade, depende de características do solo, tais como textura, composição, estrutura, porosidade, etc. Bertoni e Lombardi Neto (2008, p.61) “suas condições físicas e químicas, ao conferir maior ou menor resistência à ação das águas, tipificam o comportamento de cada solo exposto a condições semelhantes de topografia, chuva e cobertura vegetal”.

A estrutura seria o modo como as partículas do solo se organizam. Devem-se considerar dois aspectos no estudo da erosão: a propriedade físico-química da argila que faz, na presença de água, os agregados ficarem estáveis, e a propriedade biológica em virtude da abundância de matéria orgânica. Bertoni e Lombardi Neto (2008) citam, como exemplo, que os agregados de solos com argila montmorilonítica são pouco estáveis em água, os com ilita apresentam-se em posição intermediária e os com argila caulinítica são mais estáveis; explicando ainda que a maior estabilidade dos agregados acarreta menos enxurrada e menos erosão. A presença de matéria orgânica tem suma importância no controle da erosão, pois provoca um aumento na capacidade de infiltração do solo, resultando numa diminuição dos possíveis danos causados pela erosão.

A textura do solo é um dos fatores que influem no aumento ou diminuição da quantidade de solo arrastado na erosão. Exemplificando: O solo arenoso, que possui grandes espaços porosos, durante uma chuva de baixa intensidade é capaz de absorver praticamente toda a água, porém como possui baixa proporção de partículas argilosas que promovem ligações mais fortes entre partículas, a pequena enxurrada que escorre pode acabar arrastando grande quantidade do solo. Já o solo argiloso tem menor capacidade de absorção de água, porém, pelo fato de haver uma força de coesão maior, a resistência à erosão é aumentada.

A permeabilidade seria a capacidade que esse solo tem de permitir a entrada de água em suas camadas mais profundas. Quanto maior a permeabilidade, menor a chance de haver uma erosão intensificada.

Uma importante observação é feita pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica de São Paulo (1990), ao relatar que o tipo de solo é um reflexo de fatores extrínsecos que também condicionam os processos erosivos, tais como clima, topografia e cobertura vegetal. Assim, por exemplo, os solos do tipo podzólico são, em geral, mais susceptíveis à erosão que os do tipo latossólico, pois além de ocorrerem geralmente em topografia mais movimentada que os latossolos, apresentam logo abaixo do horizonte superficial um horizonte ou camada com maior concentração de argila, o que representa uma espécie de barreira à infiltração das águas. Consequentemente, o fluxo de água, logo abaixo da superfície, paralelo à encosta, tende a causar maior erosão neste tipo de solo. (Departamento de Águas e Energia Elétrica de São Paulo, 1990).

66

A topografia é importante no que diz respeito à declividade e comprimento da encosta, sendo um fator determinante na velocidade dos processos erosivos. Isto porque relevos mais acidentados, com declividades mais acentuadas, favorecem a concentração e aumento de velocidade do escoamento superficial, aumentando sua capacidade erosiva. Vilar e Prandi (1993) explicam ainda que a forma das encostas também influencia os processos erosivos, os quais serão pronunciados em encostas convexas, do que em encostas côncavas.

Em Departamento de Águas e Energia Elétrica de São Paulo (1990) é descrito que quanto maior for o trecho percorrido pela água, ou seja, quanto maior for o comprimento da encosta, maior será a importância da declividade. Tanto a declividade quanto o comprimento da rampa determinam a velocidade com que a água escorrerá. Tal fato pode ser explicado porque “à medida que o caminho percorrido vai aumentando, não somente as águas vão-se

avolumando proporcionalmente como, também, a sua velocidade de escoamento vai aumentando progressivamente” (Bertoni; Lombardi Neto, 2008, p. 56).

Gray e Leiser (1989) descrevem que a influência ou importância do comprimento tende se tornar maior à medida que a declividade se torne mais íngreme; afirmam ainda que se o comprimento de uma encosta dobrar de 30m para 60m o aumento da perda de solo será de apenas 29% no caso da declividade ser de 6%, porém o mesmo aumento de comprimento resultará em um aumento de perda de solo de 49%, no caso de uma declividade de 20%.

É razoável então concluir que, na verdade, a importância dos dois fatores será interdependente, com a influência da topografia sendo tomada pela ponderação de ambos.

Este é um dos motivos para a adoção de bancadas ou terraços como forma de controle do processo.

### **Agentes Erosivos**

Todos os agentes erosivos comungam do mesmo produto que é a erosão, porém cada agente atua de uma forma específica na natureza. Além disso, apesar de atuarem simultaneamente, em cada região a tendência é que exista preponderância de alguns sobre os demais. É importante entender, então, o mecanismo de atuação de cada agente, para que a tomada de decisão possa ser realizada de maneira mais adequada e eficaz.

67

### **Erosão fluvial**

O processo de erosão fluvial ocorre, quando a ação dos rios proporciona desgastes das margens e do fundo do canal e carrega o material removido ao longo do leito. O local onde a erosão ocorre depende do tipo de canal: canais “jovens” (menores) geralmente apresentam erosão no fundo; canais “maduros” (maiores) sofrem basicamente erosão das margens. Os materiais erodidos e depositados em um trecho específico do canal costumam apresentar-se balanceados (Cunha, 1996).

Diversas variáveis controlam o comportamento dos sistemas fluviais, dentre as quais se incluem a descarga do canal, o tamanho dos grãos, a largura do canal, a profundidade do fluxo, a forma e sinuosidade do canal. O comportamento do sistema é então definido a partir de uma situação em que todas estas variáveis se encontrem em estado de equilíbrio dinâmico (Lima, 2010).

Através dos sedimentos erodidos, transportados e depositados nos rios, pode-se avaliar o poder de trabalho dos mesmos. Estes três processos são definidos pela velocidade e turbulência do fluxo, apresentando interdependência e ocorrendo a partir de mudança no fluxo ou na carga.

Segundo Cunha (1996) a erosão do canal de um rio pode ocorrer devido à atuação de diferentes processos, como por exemplo:

- a) Erosão Regressiva da Base: Ocorre quando a base de um talude submerso é atacada, levando à erosão e desmoronamento das margens.
- b) Erosão das margens: Causada diretamente pela ação das correntes.
- c) Ruptura dos Taludes sem Superfície Definida: Ocorre nas margens, em solos siltosos e arenosos saturados, quando ocorrem condições que causem a liquefação destes.
- d) Piping: Erosão das margens devido à perda de sustentação, ocasionada por erosão interna, a partir da percolação de água subterrânea em áreas preferenciais.

Conforme observam Gray e Leiser (1989), o reconhecimento e compreensão daqueles diversos tipos de processos são muito úteis quando se projeta um sistema de prevenção e controle; entretanto, tal classificação não é particularmente útil na determinação da causa da erosão de um canal.

A explicação da causa está relacionada ao ajuste das características de um canal, até a obtenção de um equilíbrio dinâmico, ocorrendo então três mecanismos principais (CUNHA, 1996):

- a) Alargamento do Canal: Devido a aumento do fluxo ou da carga de sedimentos.
- b) Aprofundamento do Canal: Devido a aumento do fluxo ou mudança de declividade.
- c) Mudança de Sinuosidade: Relacionado a transformações na configuração longitudinal do canal. Ocorre perda de material nas margens acompanhada de acréscimo de material em local adjacente.

### **Erosão marítima**

A erosão marítima, designada também de erosão costeira, modifica todo o litoral e é causada, fundamentalmente, pela ação de três fatores: ondas, correntes e marés. As ondas e marés, além de eventuais tempestades ao longo do litoral, causam trabalho de destruição e caracterizam-se por apresentarem um fluxo bidirecional (fluxo de vazante e fluxo de enchente),

havendo, portanto, duas forças de módulos e sentidos diferentes. Nos costões rochosos, a ação erosiva do mar forma as falésias. Nas praias arenosas, a ação erosiva do mar causa recuo da mesma, ocorrendo o transporte de sedimento, onde o sedimento é removido pelas ondas é transportado lateralmente pelas correntes litorâneas longitudinais (Armesto, 2012; Ceccarelli, 2009).

a) Ondas

Ondas são formadas pela ação conjunta de vento e água. O embate das águas (fluxo e refluxo) na costa provoca o desagregamento de material, permanecendo este suspenso sendo depositado posteriormente no fundo do mar. É de grande relevância algumas de suas características como: intensidade, ângulo de incidência, altura e período. As ondas são responsáveis pela erosão e carregamento do material praia afora (Armesto, 2012; Lima; Oliveira, 2012).

b) Correntes

O papel das correntes marinhas é basicamente o de carregar os sedimentos. Os sedimentos removidos pelas ondas são transportados lateralmente pelas correntes litorâneas longitudinais. Os sedimentos são carregados de acordo com a capacidade da corrente marinha, essa capacidade é função do peso do sedimento e do gradiente de velocidade da corrente.

69

c) Marés

A modificação da amplitude das marés, diferença de nível entre a preamar e a baixamar é uma importante característica desse fator no estudo da erosão marítima. Ela pode ocorrer de quatro formas: através de alterações diárias, de alterações quinzenais provocadas pela maré de sizígia, de alterações anuais dadas por variações sazonais do nível médio do mar e, por último, alterações de conotação global que ocorrem em longo prazo (Lima; Oliveira, 2012).

O processo de erosão costeira se manifesta de forma mais espetacular em encostas altas, como é o caso das falésias, que terminam abruptamente no mar. O trabalho das ondas na base das falésias provoca desmoronamentos, deixando sem apoio a parte superior, que também acaba por ruir. Após isso, ocorre o recuo da praia, onde o sedimento removido pelas ondas é transportado lateralmente pelas correntes de deriva litoral. O resultado dessa erosão é a variação na largura da faixa de areia da praia e a diminuição de paredões rochosos na região litorânea (Armesto, 2012; Rocha et. al., 2013).

Algumas variáveis que estão relacionadas com a erosividade das marés são listadas por Mazzer (2007) que têm a seguinte relação: quanto maior a erosão marítima maior a altura de onda, maior o ângulo de inclinação da face litorânea, menor a altitude da orla, maior a velocidade de corrente longitudinal residual, maior o tamanho do grão médio na face praial entre outras variáveis.

Geoindicadores são parâmetros de processos geológicos e de fenômenos que ocorrem na superfície terrestre, têm a finalidade de fornecer elementos para uma avaliação ambiental através de informações relativas à magnitude, frequência, taxas e tendências. Observa-se que são mais eficientes quando aplicados à escala de tempo de até 100 anos e numa escala espacial de paisagem (0,1-10km) ou de meso-escala (10-100km) (Berger, 1997; Bush et.al., 1999). Nessa perspectiva Bush et al. (1999), chegam a uma classificação de praias em Erosão Severa, Erosão ou Acreção/Estabilidade (Tabela 1).

Tabela 1 - Tabela com Geoindicadores de avaliação de comportamento da linha de costa.

70

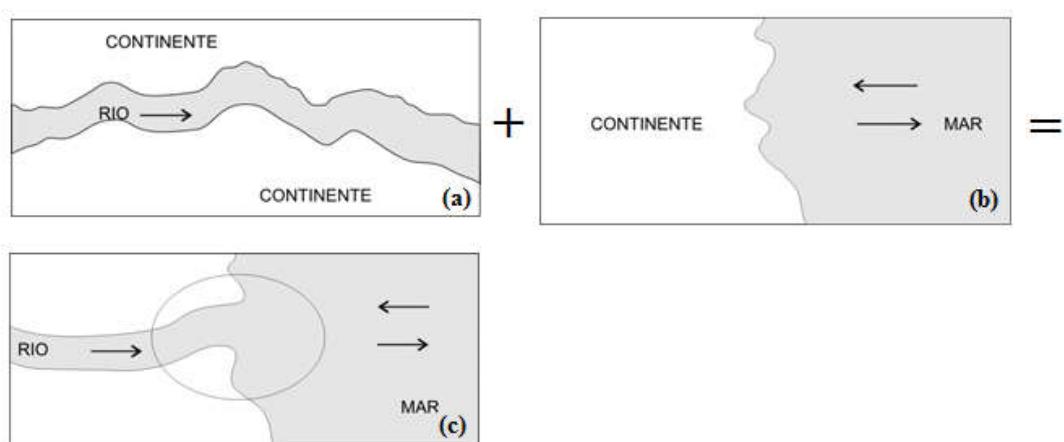
EROSÃO SEVERA	EROSÃO	ACRESCÃO/ESTABILIDADE
1 Ausência de dunas	8 Dunas escarpadas ou rompidas	13 Dunas e cristas de praia bem vegetadas
2 Escarpa ativa por ondas	9 Escarpas íngreme e depósitos de tálus	14 Escarpa vegetada com rampa estável
3 Canais de maré expostos	10 Turfa, lama ou troncos expostos na praia	15 Berma larga e bem desenvolvida
4 Ausência de vegetação	11 Berma estreita ou coberta por espraiamento	16 Ausência de leque de transposição
5 Presença de obras de engenharia	12 Presença de leques de transposição	17 Vegetação de restinga bem desenvolvida
6 Escarpamento do pós-praia		
7 Presença de edificações ou estruturas danificadas		

Fonte: Adaptado de BUSH et al. (1999).

A erosão marítima pode ser combinada com a erosão fluvial gerando como produto a erosão ao longo do estuário (Figura 2). Sendo o estuário a região de encontro do rio com o mar, esta sofrerá influência de ambos. Desta forma, o processo se caracterizará por apresentar um fluxo unidirecional (do rio) associado a um fluxo bidirecional (do rio e do mar) e ou ainda pelo

oscilatório (ligado às ondas). Haverá momentos em que as forças provocadas pelo rio e pelo mar estarão direcionadas para o mesmo sentido e outros em que se direcionarão em sentidos opostos (Figuras 1a, 1b e 1c). Casos complexos podem ser obtidos quando se acrescenta os efeitos do fluxo oscilatório (Cunha, 1996).

Figura 1 - Em (a) representação do fluxo unidirecional do processo de erosão fluvial; (b) representação do fluxo bidirecional do processo de erosão marítima; (c) representação de um fluxo unidirecional associado a um fluxo bidirecional (erosão ao longo do estuário), o detalhe representa a região mais crítica.



71

Fonte: Adaptado de Araujo, 2000.

### Erosão pluvial

O produto resultante da erosão devido à água da chuva são formas erosivas que evoluem com a própria chuva e com as características físicas e químicas do solo.

As principais formas erosivas ocorrem a partir do escoamento superficial e subsuperficial. O processo inicia-se com as primeiras gotas de água, que, ao se chocarem contra o solo, podem provocar o splash, que é o salpicamento de partículas, causando a ruptura dos agregados. Isso origina o processo de selagem do topo do solo, dificultando a infiltração das águas da chuva, causando o escoamento superficial. Esse escoamento também acontece, quando o solo não suporta mais infiltração das águas da chuva. Nesse primeiro

estágio, as águas se escoam de forma difusa, provocando a erosão em lençol.

Essas águas podem se concentrar, formando sulcos, dando origem às ravinas.

À medida que as ravinas vão se alargando, se aprofundando e aumentando de comprimento, dão origem às voçorocas. Essas podem se formar também a partir do escoamento subsuperficial, provocando o colapso do teto, abrindo grandes buracos na superfície do solo (Guerra; Botelho, 1996, p. 105).

Assim, o fenômeno inicia-se da seguinte maneira: as primeiras gotas de chuva atingem a superfície do solo podendo provocar o *Splash*, salpicamento de partículas. O impacto da gota tem pelo menos três desdobramentos, segundo Bertoni e Lombardi Neto (2008, p.70) as gotas “desprendem partículas no local que sofre o impacto; transportam, por salpicamento, as partículas desprendidas; imprimem energia, em forma de turbulência à água superficial”. Além disso, à medida que o *Splash* rompe os agregados no topo do solo, começa a ocorrer a formação de crostas que podem provocar a selagem do solo. A selagem diminui a taxa de infiltração e aumenta as taxas de escoamento superficial (Guerra, 2007).

À medida que a água se infiltra no solo, iniciando o processo de saturação, poços se formam na superfície, podendo iniciar o escoamento superficial. Seus efeitos na erosão dependem de sua velocidade, declividade e quantidade de escoamento. O escoamento superficial pode acontecer também quando a intensidade da chuva é superior à taxa de infiltração instantânea do solo, ou seja, antes do solo saturar (Nunes, 2006). A erosão em lençol (também conhecida como erosão laminar) ocorre nesse estágio de escoamento, quando o fluxo ainda é difuso. O impacto das gotas da chuva sobre uma fina camada de água provoca turbulência no escoamento superficial, potencializa a capacidade do fluxo em desagregar e transportar partículas de solo, aumentando assim a erosão em lençol. As irregularidades existentes no solo podem fazer com que as águas começem a se concentrar ao longo de determinados planos, formando os primeiros filetes, ou sulcos, que são a origem das ravinas (Guerra; Botelho, 1996; Guerra, 2007).

O escoamento superficial, quando concentrado, pode levar à formação de ravinas e voçorocas. Nestas situações, o fluxo superficial deixa de ser laminar, concentrando-se em filetes líquidos, que através da velocidade da água provocam erosão no terreno (Araujo, 2000). A incisão começa a ocorrer no topo do solo, aprofundando em direção aos horizontes

subsuperficiais. Na maior parte das vezes, essas feições erosivas, formam um sistema de ravinas, ou seja, raramente ocorrem isoladas numa encosta. Além dos fluxos principais, nesse sistema, aparecem também ravinas menores, que podem ser obliteradas, a cada evento chuvoso, formando uma nova rede de ravinas (Guerra; Botelho, 1996).

### Erosão eólica

Os principais fatores que controlam a erosão eólica são o clima, o solo e a vegetação. De acordo com Bertoni e Lombardi Neto (2008) as contribuições de cada um são:

Clima: precipitação, o vento, a temperatura, a umidade, viscosidade e densidade do ar;

Solo: a textura, a estrutura, a densidade das partículas, a matéria orgânica, sua umidade e a rugosidade da superfície; dentre todos estes, o mais importante é a umidade do solo, uma vez que somente um solo relativamente seco é sujeito à erosão eólica;

Vegetação: a altura e a densidade da cobertura vegetal são os fatores principais; a densidade da cobertura vegetal, quebrando a velocidade do vento, evita a sua incidência direta sobre o solo.

De acordo com os mesmos autores, esses três fatores devem estar combinados de tal forma a proporcionar as seguintes condições para haver a erosão eólica: solo solto, seco e com granulações finas; superfície lisa e cobertura vegetal rala ou inexistente; grandes lançantes sem nenhuma obstrução para redução da força do vento; vento suficiente forte para iniciar o movimento das partículas de solo.

A erosão eólica consiste em três fases distintas: início do movimento, transporte e deposição. Gray e Leiser (1989) explicam que o início do movimento é consequência da velocidade e da turbulência do vento, sendo que quanto maior o peso do grão, maior será a velocidade requerida. Uma vez iniciado o movimento, a velocidade necessária para mantê-lo passa a ser bem menor (Gray; Leiser, 1989).

O início do movimento das partículas do solo é causado pelas forças do vento exercidas contra a superfície do terreno. Em algum ponto próximo da superfície do terreno, a velocidade do vento é nula, acima desse ponto a média de velocidade aumenta exponencialmente (gerando um gradiente de velocidade), e nesta zona o vento é turbulento caracterizado por movimentos de redemoinhos com velocidades variáveis em todas as direções (Chepil; Woodruff, 1963; Zingg et al., 1965).

Zingg et al (1965) afirmam que o transporte das partículas é influenciado pelo seu tamanho, pela velocidade do vento e pela distância a percorrer. Explicam ainda que, após o movimento ser iniciado, as partículas são conduzidas aos saltos, dependendo do seu tamanho e da turbulência do vento. Ainda segundo os autores a maior parte do solo é movimentada pelos saltos e pelo arraste, todavia o movimento das partículas por suspensão é mais fácil de ser observado.

A deposição do sedimento ocorre quando: a força da gravidade é maior que a força de sustentação das partículas no ar; quando a rugosidade da superfície e a presença de pequenas barreiras funcionam como quebra-ventos; quando a velocidade do vento diminui (Araujo, 2000; Bertoni; Lombardi Neto, 2008).

Uma equação foi desenvolvida para estimar a perda de solo devido à erosão eólica, indicando, dessa forma, o potencial de erosão de determinado campo. Essa equação (Equação 2) sintetiza os diversos fatores que influem nesse processo erosivo (Woodruff; Siddoway, 1965):

$$E = f(I, K, C, L, V)$$

Onde:

E = perda de solo em toneladas por hectare e por ano;

I = índice de erodibilidade do solo;

C = fator climático relacionado com a velocidade do vento e com a humidade do solo;

L = comprimento do campo no sentido da direção predominante do vento;

V = quantidade de cobertura vegetativa.

74

### Erosão antrópica

O último agente erosivo apresentado nesse trabalho é o antrópico. Esse agente é bastante especial porque ao contrário dos demais agentes estudados aqui ele é totalmente previsível, pode ser evitado, controlado e já se conhece todos os seus mecanismos de atuação.

A relação entre o homem e a natureza é uma relação antiga, na busca de melhores condições de vida e para a manutenção de suas necessidades primárias, sobrevivência, o homem sempre buscou utilizar de seus recursos, em particular o solo, tanto para cultivar quanto para os demais tipos de ocupação, essa ação aplicada ao sistema natureza produz uma resposta que nem sempre é favorável da ótica da renovação dos recursos.

Segundo Mota (1991), atividades desenvolvidas pelo homem contribuem para a aceleração do processo de erosão do solo, destacando-se:

- a) Desmatamento de áreas extensas, de terrenos de encostas, da mata ciliar, de locais de solos erodíveis, entre outros;
- b) Práticas agrícolas: monoculturas; culturas não perenes; plantio em encostas; cultivo intensivo; uso de máquinas e implementos agrícolas;
- c) Queimadas;
- d) Agropecuária: criação excessiva de animais em áreas de pastagem (sobre pastoreio);
- e) Movimentos de terra: escavações e aterros;
- f) Alterações no escoamento natural das águas: barragens; aterros; alterações nos trajetos de cursos d'água; drenagem artificial;
- g) Impermeabilização do solo: construções, pavimentações, compactação;
- h) Atividades de mineração;
- i) Execução de obras: desmatamentos; movimentos de terra; áreas de empréstimos; impermeabilização; alterações no escoamento das águas.

75

Com o intuído de utilizar o solo de forma racional e também minimizar os prejuízos, aos poucos está sendo adotada pela agricultura práticas conservacionistas e sistemas de manejo devido ao conhecimento de que algumas das causas do esgotamento dos solos pela erosão podem ser controladas. Práticas conservacionistas são todas as técnicas utilizadas para aumentar a resistência do solo ou diminuir as forças do processo erosivo. Saindo dos campos e entrando nas cidades é possível observar também a necessidades de práticas que corroboram para a utilização eficiente do solo, isso pode ser feito através do planejamento do crescimento urbano, evitando a utilização de áreas que são críticas, por exemplo, o “caminho das águas” que são áreas de dreno onde a interferência em qualquer ponto pode causar danos como, enchentes, entupimentos, deslizamentos e etc.

### **Ravinhas e Voçorocas**

Destaca-se a princípio que alguns conceitos sobre as formas erosivas como as voçorocas e ravinas não tem fronteiras bem definidas ainda do que seja a transição de um para o outro. De

acordo com Gray e Leiser (1989) “a dinâmica da formação de voçorocas é complexa e não entendida completamente”.

Sobre esse assunto Guerra (1995) afirma que “existem várias classificações espalhadas pelo mundo, sobre os limites, quanto à profundidade e largura, entre as ravinas e as voçorocas”. Ainda segundo o mesmo autor, uma definição de caráter simplesmente dimensional distingue ravina de voçoroca da seguinte forma: ravinas são incisões de até 50cm de largura e profundidade. Acima desses valores, as incisões erosivas são denominadas voçorocas.

Outra proposta de definição dentre esses dois tipos é que ravinas seriam canais criados pela ação do escoamento superficial enquanto que as voçorocas são canais esculpidos pelo afloramento do lençol freático (Canil et al., 1995; Cavaguti, 1994).

Guerra e Botelho (1996) que concorda com Rego (1978), Vilar e Prandi (1993), Departamento de Águas e Energia Elétrica de São Paulo (1990) e outros: à medida que as ravinas vão se alargando, se aprofundando e aumentando de comprimento, dão origem às voçorocas, sendo dessa forma a voçoroca uma evolução direta da ravina. Por outro lado, também existem voçorocas que são formadas pela ação do escoamento subsuperficial. Nesse caso, a água que escoa em subsuperfície remove os sedimentos, através da dissolução dos minerais, provocando a formação de dutos (“pipes”, erosão subterrânea) que, uma vez formados, tendem a aumentar em diâmetro, podendo atingir vários metros, tanto em diâmetro, como em comprimento, podendo eventualmente atingir o lençol freático. Os tetos desses dutos podem colapsar devido aos vazios deixados na subsuperfície, deixando a impressão visual de um grande rasgo no solo.

76

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (1995) define voçoroca como sendo:

Forma erosiva, trabalhada pela erosão superficial e pelo solapamento provocado pela erosão subterrânea, em terrenos geralmente arenosos. A voçoroca pode originar escavações de paredes abruptas de dezenas de metros de largura e comprimento (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1995, p. 18)

Segundo Oliveira (2007) tem-se que:

Ravinas e voçorocas podem ser consideradas como incisões que resultam da tendência de sistemas naturais a atingir um estado de equilíbrio entre energia disponível e eficiência do sistema em dissipar energia. Quando um sistema natural (encosta, bacia hidrográfica, etc) não é eficiente para dissipar a energia disponível, o sistema se adapta, de forma a atingir novo estado de equilíbrio (Oliveira, 2007, p. 58).

Pode-se perceber a busca pelo estado de mínima energia desse sistema natural, que se estabiliza quando alcançado.

Para diferenciar voçorocas de ravinhas, um dos conceitos mais difundidos no Brasil é através do critério dimensional como característica principal. Diz-se que são consideradas ravinhas incisões com menos de 50 centímetros, e voçorocas incisões com largura e profundidade superiores a 50 centímetros (Oliveira, 2007, p. 59).

77

A erosão por voçoroca resulta numa descaracterização das paisagens naturais em áreas rurais e urbanas de vários países, principalmente dos localizados entre trópicos, pelo fato das condições climáticas serem mais severas, em relação à intensidade e erosividade das chuvas (Albuquerque, 2007).

Guerra e Botelho fazem a seguinte observação:

O que diferencia as voçorocas das ravinhas é que além das voçorocas serem mais profundas, mais largas e mais extensas, elas são características mais permanentes na paisagem, a não ser que o homem faça obras de engenharia para aterrá-las ou, pelo menos, para conter sua evolução (Guerra; Botelho, 1996, p.14).

Neste parágrafo, pode-se ter uma breve ideia da intensidade da voçoroca, que por ser uma erosão em estágio muito avançado, necessita de uma intervenção com obras de engenharia e um esforço de toda uma equipe de engenheiros e operários para a realização desta intervenção.

Como se pode imaginar, esses processos erosivos têm causado consequências no meio em que ocorrem. Segundo Nummer e Sant'Ana (2010):

As consequências que os processos erosivos têm causado, tanto no meio rural quanto no meio urbano, tem provocado, nos últimos anos, uma intensa investigação e debate no meio acadêmico sobre os parâmetros e mecanismos responsáveis pela erosão e possíveis medidas a serem adotadas para a prevenção e controle das áreas afetadas. (Nummer e Sant'ana, 2010, p.199).

As consequências desastrosas também são comentadas por Guerra e Botelho (1996), quando descrevem que quase sempre o impacto ambiental começa com o desmatamento e a consequente ocupação do solo, sem considerar o “limite” imposto pelo solo e pelo relevo. Nas áreas rurais, acontece principalmente pelo desmatamento, monocultura, mecanização intensa e não utilização de práticas para conservação do solo. Todos esses fatores contribuem para o surgimento de ravinas e voçorocas, causando a degradação e empobrecimento do solo. Nas áreas urbanas a erosão também causa uma série de transtornos, pelo fato de que geralmente a densidade populacional é consideravelmente maior que na zona rural. Os processos erosivos que ocorrem nessa área, especialmente as voçorocas, podem acabar resultando em fatalidades e destruição do patrimônio.

Além disso, o processo erosivo não afeta as pessoas apenas de forma direta, mas também indiretamente, como pode-se observar no trecho a seguir, o qual aborda a busca pela responsabilização de pessoas culpadas pela erosão de uma determinada área, que trouxe danos a toda região:

Nos países desenvolvidos, tem havido uma série de processos judiciais, onde se procura responsabilizar os culpados pela erosão, que provocam prejuízos, não apenas nas suas terras, mas em áreas afastadas, afetando, dessa maneira, outras pessoas (Guerra, Botelho, 1996, p. 17).

Portanto, percebe-se que o estudo do solo, de sua formação, das características que regem sua formação, da erosão e dos fatores que influenciam no seu aparecimento são imprescindíveis para um estudo de caso de um determinado solo ser realizado com precisão.

“Resulta disso, a necessidade de conhecer os agentes formadores dos solos e sua atuação diferenciada no tempo e espaço para auxiliar nos estudos de caracterização, comportamento e mudança dos solos, principalmente frente a ação antrópica não orientada, ou ainda, mal orientada” (Guerra; Botelho, 1996).

Percebe-se também que, a degradação do solo pela erosão por voçoroca é resultado de uma soma de fatores como os condicionantes naturais (solos pouco coesos e ação da água de rios nas margens), além da atividade humana, que por ter promovido o desmatamento de forma exagerada e desorganizada acabou por deixar o solo suscetível a esse tipo de processo.

### **Considerações Finais**

A erosão é o processo de remoção de partículas das camadas superiores do solo. Os danos decorrentes de tal fenômeno podem incluir contaminação de rios, assoreamento de mananciais, destruição de propriedades; diminuição da produtividade agrícola; assoreamento de tubulações; solapamento de fundações e pavimentações; enchentes; assoreamentos de portos e canais; etc. Especialmente preocupante é a erosão acelerada, fruto de um desequilíbrio entre a velocidade de formação do solo e a velocidade de remoção de partículas.

79

Conforme visto, o estudo dos processos erosivos é bastante complexo, uma vez que envolve uma grande quantidade de fatores, tanto inerentes ao solo ameaçado (como, por exemplo, sua granulometria, textura, mineralogia, etc.), os quais determinarão sua erodibilidade, quanto externos àquele, como vegetação, topografia, dentre outros.

Ao mesmo tempo, existem diversos agentes erosivos que, ainda que possam agir simultaneamente e que produzam o mesmo efeito (a erosão), atuam de formas específicas na natureza.

A intervenção antrópica, por sua vez, acarreta modificações na forma de atuação de tais agentes, uma vez que altera as condições originais do meio físico, tendendo a acelerar ou mesmo desencadear os processos. Em qualquer situação, entretanto, tendo se iniciado o fenômeno erosivo, o mesmo terá sempre a sua evolução condicionada por fatores como o tipo de solo, a geologia, etc.

De acordo com o agente atuante, então, os fenômenos erosivos podem ser classificada da seguinte forma: a erosão fluvial ocorre quando a remoção de material das margens e do fundo do canal se dá pela ação dos rios, em um processo que depende da combinação de diversas variáveis, como a descarga do canal, o tamanho dos grãos, a largura do canal, a profundidade do fluxo, a forma e sinuosidade do canal. Já a erosão marítima, designada também de erosão costeira é causada pelas ondas, correntes e marés. A erosão pode se dar ainda devido à água da chuva, levando a formas que evoluem com a própria chuva e com as características físicas e químicas do solo, à qual se dá o nome de erosão pluvial. O escoamento superficial, quando concentrado, pode levar à formação de ravinas e voçorocas. Por fim, a erosão eólica é aquela causada pelo vento, a qual é controlada pelo clima, solo e vegetação.

Assim, a análise do fenômeno requer uma abordagem cuidadosa e criteriosa, com enfoque multidisciplinar. Qualquer projeto de controle e/ou prevenção destes processos deve ser feito com base na identificação do agente atuante e de sua intensidade, dos fatores condicionantes do meio físico, e ainda das características do próprio material, que definirão a susceptibilidade do mesmo à erosão.

80

Dessa forma, o presente trabalho constitui-se então em uma contribuição para que pesquisadores de diversas áreas direcionem suas pesquisas, bem como para que gestores possam tomar decisões e adotar políticas mais eficazes no combate ao fenômeno, a partir do conhecimento básico dos diversos fatores a serem considerados.

### **Referências:**

- ALBUQUERQUE, F. N. B.. **Agentes, processos e feições erosivas em voçoroca conecta à rede de drenagem do Rio Coreáu, Ceará.** 2007. Disponível em:  
<<http://www.uvanet.br/rcgs/index.php/RCGS/article/view/105>> Acesso em: 25/05
- ARAUJO, Rodrigo da Cruz. **Estudo da erodibilidade de solos da formação barreiras – RJ.** Rio de Janeiro, 2000.
- ARMESTO, R. C. G.. **Temas geológicos para educação ambiental.** Caderno VI - Ação da água do mar no planeta terra. 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6502: Rochas e solos.** Rio de Janeiro. 1995.

BERGER, A.R. Assessing rapid environmental changes using geoindicators. **Environmental Geology**, v.32, p. 36-44, 1997.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. Icone, 6<sup>a</sup> ed. São Paulo, 2008, 355p.

BUSH, D. M. et al. Utilization of geoindicators for rapid assessment of coastal –hazard risk and mitigation. **Oceanand Coastal Management**, v.42, p. 647-670, 1999.

CANIL, K. et al. Mapa de feições erosivas lineares do estado de São Paulo: Uma análise qualitativa e quantitativa. ABGE/UNES, **Simpósio Nacional de Controle de Erosão**, v. 5, p. 249-251, 1995.

CAVAGUTI, N. **Erosões lineares e solos urbanos: estudos, caracterização e análise da degradação do meio físico em Bauru, SP**. Tese de Doutorado. Faculdade de Engenharia e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista-Campus Bauru, 1994.

CECCARELLI, T. S. **Paradigmas de obras marítimas no contexto das mudanças climáticas**. São Paulo, 2009.

CHEPIL, W. S.; WOODRUFF, N. P. **The physics of wind erosion and its control**. Advan. Agron., New York, 15, 1963.

81

CUNHA, S. B. Geomorfologia Fluvial. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Org) **Geomorfologia: Uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro, Ed. Bertrand do Brasil, p. 211-252. 1996.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA DE SÃO PAULO. (1990). **Controle de Erosão: Bases Conceituais e Técnicas; Diretrizes para o Planejamento Urbano e Regional; Orientações para o Controle de Boçorocas Urbanas**. São Paulo, DAEE – IPT, 1989, 2º Edição.

GOMES, F. S.. **Estudo da Erodibilidade e Parâmetros Geotécnicos de um solo em Processo Erosivo**. Tese de Doutorado. Dissertação de Mestrado. UFPE. Engenharia Civil, Recife-PE. 2001.

GUERRA, A.J.T. Processos Erosivos nas Encostas. In: **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Editores: GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. 2aed, Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, RJ, 1995.

GUERRA, A.J.T. **O início do Processo erosivo**. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S; BOTELHO, R. G. M. **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. 3aed. – Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.

GUERRA, A.J.T. **Geomorfologia Urbana**. 1. Ed. Editora Bertrand Brasil, 2011. 280 p.

GUERRA, A. J. T.; BOTELHO, R. G. M. Características e Propriedades dos Solos Relevantes Para os Estudos Pedológicos e Análise Dos Processos Erosivos. **Anuário do Instituto de Geociências - V**. 19 – 1996.

GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S; BOTELHO, R. G. M. **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações.** 3aed. – Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.

GRAY, D.H.; LEISER, A.T. **Biotechnical Slope Protection and Erosion Control.** Krieger Publishing Company, Malabar, Florida. 1989.

LIMA, A. G. **Rios de leito rochoso: aspectos geomorfológicos fundamentais.** Ambiência Guarapuava, V. 6, n. 2 (Mai-Agos), p. 339-354, 2010.

LIMA, C. O.; OLIVEIRA, R. C. Os processos de erosão e progradação no município de ilha comprida- SP. **Revista Geonorte**, Edição Especial, V.1, N.4, p.902 – 915, 2012.

MARÇAL, M.S. **Degradação Ambiental no Alto Curo da Bacia do Rio Açaílândia (MA): Uma Avaliação dos Processos de Erosão Acelerada.** Projeto de Tese de Doutorado UFRJ, RJ, 1998.

MAZZER, A. M.; **Proposta metodológica para análise de vulnerabilidade da orla marítima à erosão costeira: aplicação em praias arenosas da costa sudeste da ilha de Santa Catarina (Florianópolis, Santa Catarina - Brasil).** Porto Alegre, 2007.

MORTARI, Diógenes. **Caracterização geotécnica e análise do processo evolutivo das erosões no Distrito Federal.** Brasília, 1994.

MOTA, S. **Planejamento Urbano e Preservação Ambiental.** Edições UFC, Fortaleza, 1991.

82

NUMMER, A.V.; SANT'ANA, K.D. A. **ESTUDOS SOBRE PROCESSOS EROSIVOS NA GEOGRAFIA BRASILEIRA:** PERÍODO: 2004 2010. Disponível em:  
<<http://w3.ufsm.br/ppggeo/files/ebook01/Art.11.pdf>>. Acesso em: 20/05/2016.

NUNES, M.C.M. **Erosão hídrica em entressulcos de latossolos do Rio Grande do Sul.** Tese de Doutorado em Ciência do Solo, Programa de Pós- Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS. (160 p.) Julho, 2006.

OLIVEIRA, M. A. T. **Processos Erosivos e Preservação de Áreas de Risco de Erosão por Voçorocas.** In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S; BOTELHO, R. G. M. **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações.** 3aed. – Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.

PASTORE, E.L. Contribuição ao Tema Geotecnia e Meio Ambiente: Erosão. **VIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações,** v.5, Porto Alegre, RS, 1986.

REGO, J.J.V. **Erosão Superficial em Taludes de Corte em Solo Residual de Gnaiss.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, UFRJ, Rio de Janeiro, RJ. 1978.

ROCHA, T. B.; FERNANDEZ, G. B.; NASCIMENTO L. C. Avaliação dos critérios morfodinâmicos para a fase de diagnóstico do projeto orla: um estudo de caso em praias arenosas com desembocaduras fluviais. **Sociedade. & Natureza.**, Uberlândia, 25 (2): 333-348, mai/ago/2013.

SANTIAGO, F.L. (1999). **Processos Erosivos Causados Pelo Escoamento Aquoso Superficial e Subsuperficial.** Exame de Qualificação de Doutorado em Engenharia Civil, UFRJ, Rio de Janeiro, RJ.

VILAR, O.M.; PRANDI, E.C. **Erosão dos Solos. Solos do Interior de São Paulo.** ABMS/USPSC, 1993.

WOODRUFF, N. P. e SIDDOWAY, F. H. **A wind erosion equation.** Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison, Wisc., 29:602-608, 1965.

ZINGG, A. W.; CHEPIL, W. S.; WOODRUFF, N. P. **Sediment transportation mechanics: wind erosion and transportation.** J. Hydraul. Div. Proc. Am. Soc. Civ. Eng., v. 91, paper 4261, 1965.