

geomorfologia **fluvial**

José Stevaux
Edgardo Manuel Latrubesse

coleção
Geografia

organização
Francisco Mendonça

oficina de **textos**

Geomorfología fluvial

José Stevaux

Edgardo Manuel Latrubesse

INTRODUÇÃO

Como introdução serão tratados sucintamente os conceitos fundamentais da Geomorfologia e suas aplicações no ambiente fluvial. Inicialmente será abordada a atuação das forças *endógenas* e *exógenas* como modeladoras da superfície do planeta. Deve-se ter em mente que um *sistema fluvial* funciona em diferentes *escalas temporais* (que variam de segundos a milhões de anos) e *espaciais* (que variam de centímetros a milhares de quilômetros). As variáveis do sistema fluvial operam por meio de uma relação *hierarquizada* de dominância, dependência e independência definidas dentro das escalas temporais e espaciais mencionadas. A abordagem do tempo e do espaço no processo geomorfológico é feita por meio dos conceitos de *uniformitarismo* e *ergodicidade*. No decorrer do processo geomorfológico, o comportamento caótico (de caos) das variáveis deve ser tal que as perturbações sejam absorvidas e compensadas de modo que o sistema se mantenha íntegro e equilibrado. Essa condição depende principalmente dos *tempos de reação*, *relaxação* e *recuperação* das variáveis componentes.

Será visto também que a ocorrência de eventos extremos de grande magnitude tem elevado poder transformador do sistema geomorfológico, sendo esses eventos, contudo, extremamente raros. Já eventos de menor intensidade apresentam alta frequência, mas são estes os responsáveis pela dinâmica e manutenção do sistema. É interessante salientar que, ao contrário do que se imagina, para os sistemas fluviais eventos extremos não são apenas as grandes inundações seculares ou milenares que devastam todo o sistema, mas também ocorrências de secas extremas que produzem grandes modificações, sobretudo no ecossistema fluvial (Stevaux; Corradini; Aquino, 2013).

I.1 Processos endógenos e exógenos

O **relevo** da Terra é produto do confronto entre os processos internos, ou *endógenos*, e externos, ou *exógenos*. No primeiro caso, trata-se dos processos que,

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| Introdução | 15 |
| 1.1 Processos endógenos e exógenos | 15 |
| 1.2 Geomorfologia histórica e funcional..... | 16 |
| 1.3 Sistema fluvial..... | 17 |
| 1.4 Uniformitarismo e ergodicidade | 24 |
| 1.5 Tempo de reação, relaxação e recuperação (sensibilidade)..... | 26 |
| 1.6 Frequência e magnitude | 27 |
| 1.1 Histórico e evolução da Hidrologia..... | 33 |
| 1 Hidrologia da bacia de captação: precipitação e escoamento de vertente | 33 |
| 1.2 Ciclo hidrológico: estoque-fluxo-residência..... | 35 |
| 1.3 Hidrologia da vertente | 49 |
| 2 Bacia de drenagem e rede de canais de escoamento | 57 |
| 2.1 Definições e funcionamento | 57 |
| 2.2 Escala temporal e espacial da bacia-rede de drenagem | 59 |
| 2.3 Ordenamento da rede de drenagem..... | 60 |
| 2.4 Densidade de drenagem | 63 |
| 2.5 Padrão da rede de drenagem..... | 67 |
| 2.6 Evolução da rede de drenagem | 74 |
| 3 Escoamento de água pela rede de drenagem..... | 81 |
| 3.1 Influência da bacia sobre o escoamento | 81 |

| | | |
|-----|--|-----|
| 3.2 | Medição do fluxo | 89 |
| 3.3 | Regime de descarga | 95 |
| 4.1 | Fluxo acanalado | 101 |
| 4 | Processo fluvial de produção de água e sedimento..... | 101 |
| 4.2 | Processos de erosão..... | 110 |
| 5 | Processo fluvial de transporte e sedimentação | 117 |
| 5.1 | Transporte fluvial | 117 |
| 5.2 | Sedimentação no canal..... | 140 |
| 6 | Dinâmica de ajuste do canal | 153 |
| 6.1 | Geometria hidráulica em canais aluviais..... | 153 |
| 6.2 | Descarga morfológica ou formativa | 157 |
| 6.3 | Perfil longitudinal | 160 |
| 6.4 | Padrão de canal aluvial..... | 163 |
| 7 | Planície de inundação | 191 |
| 7.1 | Planície aluvial e planície de inundação..... | 191 |
| 7.2 | Depósitos da planície de inundação..... | 206 |
| 7.3 | Funcionamento hidrológico e captação de sedimentos | 207 |
| 7.4 | Dinâmica aquático-terrestre e pedogênese | 212 |
| 7.5 | Classificação e dimensões da planície de inundação | 213 |
| 7.6 | Funcionamento ecológico..... | 216 |
| 8 | Metamorfose fluvial | 221 |
| 8.1 | Conceitos iniciais..... | 222 |
| 8.2 | Causas das mudanças | 225 |
| 8.3 | Identificação e quantificação das mudanças..... | 230 |
| 8.4 | Alterações nos sistemas fluviais brasileiros por mudanças climáticas..... | 244 |
| 9 | Impacto antrópico e manejo conservativo..... | 247 |
| 9.1 | Histórico dos impactos em sistemas fluviais..... | 247 |
| 9.2 | Alterações no canal por atividade antrópica | 251 |
| 9.3 | Manejo conservativo | 268 |
| | Glossário | 275 |
| | Referências bibliográficas | |

1

HIDROLOGIA DA BACIA DE CAPTAÇÃO: PRECIPITAÇÃO E ESCOAMENTO DE VERTENTE

Neste capítulo é feito um breve histórico da evolução do conhecimento hidrológico desde o empirismo persa e chinês até as primeiras ideias do ciclo hidrológico introduzidas na França Iluminista. A relação entre o estoque, o fluxo e o tempo de residência da água no ciclo hidrológico permite a avaliação das intervenções antrópicas e o manejo da água em escala global e regional. Dessa forma, precipitação, interceptação, infiltração e água subterrânea são abordadas de maneira sucinta, mas de forma a favorecer a compreensão integrada do modelo. Finalmente, o assunto é abordado com mais detalhe por meio da hidrologia de vertente, que é apresentada como o grande coletor de água e produtor de sedimento do sistema fluvial.

1.1 Histórico e evolução da Hidrologia

Desde seus primórdios, os assentamentos humanos localizavam-se de acordo com a disponibilidade e o acesso à água. Agricultura e comunicação eram as atividades que mais necessitavam do conhecimento do comportamento das variáveis hídricas, principalmente a precipitação e o nível de água dos rios. Civilizações como a do Egito, Mesopotâmia, Sri Lanka, Índia, China e Inca tiveram seu florescimento ligado ao conhecimento que tinham do regime pluvial e fluvial. Há mais de 5.000 anos os egípcios já gerenciavam as águas do Nilo visando à irrigação e ao controle de enchentes. A pedra de Palermo, datada de 2.800 a.C., que contém 52 anos de medidas contínuas do nível desse rio, é considerada a mais antiga publicação hidrológica (Mangelsdorf; Scheuermann; Weiss, 1990).

No desenvolvimento da ciência hidrológica, os procedimentos empíricos antecederam em muito o tratamento teórico-matemático que gerou suas principais equações. As primeiras especulações teóricas dos fenômenos hidrológicos foram formuladas pelos gregos nos séculos IV e III a.C. Os filósofos gregos, contu-

2

BACIA DE DRENAGEM E REDE DE CANAIS DE ESCOAMENTO

Serão abordados neste capítulo os conceitos e as definições para a análise de uma bacia hidrográfica no tocante à rede de canais que a drena. O ordenamento da rede de drenagem, sua densidade e seu desenho em planta (padrão) são parâmetros fundamentais para a compreensão dos processos fluviais e seu relacionamento com o clima, a vegetação, a geologia e o relevo da bacia, bem como com o uso e a ocupação de sua área. Será visto também que uma bacia de drenagem constitui a unidade fundamental de análise da Geomorfologia Fluvial.

2.1 Definições e funcionamento

A *bacia de drenagem* de um rio corresponde não apenas à rede de canais, mas a toda a área de captação de água pluvial (e da neve), que pode escoar sob a forma de fluxo superficial acanalado, fluxo superficial não acanalado (*hortoniano* e *hipodérmico*) e fluxo subterrâneo (água freática). A bacia de drenagem constitui a unidade principal nas análises da Geomorfologia Fluvial e é definida nos mapas com uma linha que separa os *canais de primeira ordem* (ver adiante) que drenam para vales adjacentes. Essa linha é chamada de *divisor de águas* ou *interflúvio* (Fig. 2.1) porque divide ou separa uma bacia de sua vizinha. O termo *interflúvio* pode ser também utilizado quando se delimitam as bacias menores de dois cursos da mesma bacia. A área compreendida dentro da linha divisória e por onde circulam os cursos fluviais que conformam a *rede de drenagem* é definida como *área de drenagem* (A_d). Se por um lado a definição de uma bacia de drenagem é relativamente simples em áreas de relevo acidentado e com substrato rochoso, por outro sua delimitação pode ser menos precisa nas planícies ou em paisagens *cársticas*. Nas bacias de planície, o interflúvio é pouco evidente e de difícil delimitação, podendo ocorrer comunicação tanto da água superficial como da água subterrânea entre bacias adjacentes. Na província de Buenos Aires, na Argentina,

curta duração. Por outro lado, a bacia do rio Amazonas evoluiu ao longo de muitos milhões de anos. Sua configuração atual começou a ser definida há ~6,5 milhões de anos, durante o final do Mioceno (Latrubesse et al., 2010).

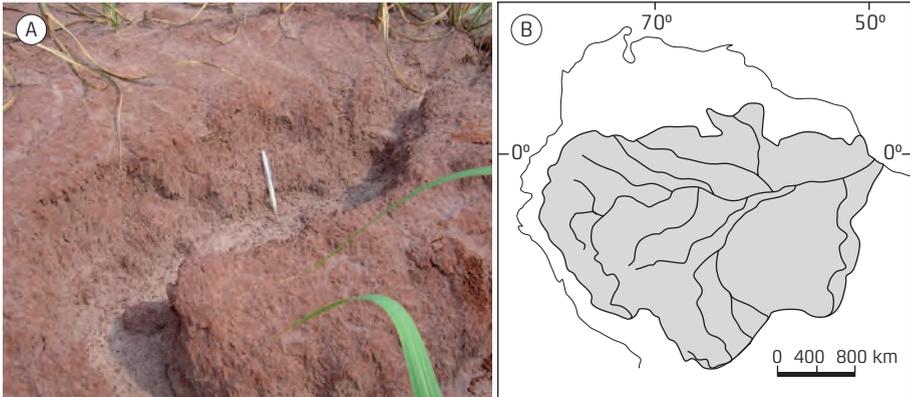


Fig. 2.3 Escala espacial da bacia de drenagem: (A) sulco sobre solo de terra roxa gerado em um único evento de chuva intenso; (B) dimensão continental da bacia do rio Amazonas

2.3 Ordenamento da rede de drenagem

Os componentes de uma rede de drenagem podem ser analisados em termos de uma série de relações expressas como equações exponenciais ou geométricas. Os estudos pioneiros foram elaborados por Horton (1945) e Strahler (1952a, 1952b), que estabeleceram relações quantitativas entre os componentes do sistema fluvial. Esse tipo de estudo recebeu o nome de *geomorfologia fluvial quantitativa* e sua técnica de medições e análise é denominada *morfometria fluvial*. A relação entre a morfometria da bacia e o escoamento dos canais descreve modelos prognósticos de escoamento, baseados em *parâmetros morfométricos* que demonstram uma complexa interdependência entre as características da rede de canais, os processos geomórficos e a resposta hidrológica da bacia de drenagem (Patton, 1988).

Um dos objetivos da morfometria fluvial é identificar métodos de ordenar e medir o grau de hierarquização das redes de drenagem. Thomas e Goudie (2000) mencionam 11 métodos para ordenar quantitativamente canais e confluências de modo a evitar uma descrição qualitativa (subjetiva) da rede de drenagem e dessa forma permitir comparações numéricas entre bacias hidrográficas. Os principais métodos utilizados para a ordenação da rede de drenagem classificam os tributários menores da cabeceira como de ordem inferior (1 ou 2), e, à medida que estes se conectam com outros em direção à foz, vão recebendo ordens mais elevadas. O método mais usado é o de Horton (1945) modificado por Strahler (1952b) e tem as seguintes regras:

3

ESCOAMENTO DE ÁGUA PELA REDE DE DRENAGEM

À medida que o fluxo laminar avança sobre a superfície da vertente e gradativamente aumenta em volume, profundidade e velocidade, inicia-se o desenvolvimento do fluxo acanalado, mais efetivo que o anterior e propício para as novas características hidráulicas. Atingida essa nova condição de escoamento, a maior parte do volume de água passa então a escorrer pela rede de drenagem. Neste capítulo será estudado como o fluxo na rede de drenagem é dimensionado, como se comporta ao longo do tempo e como determinadas características da bacia (morfologia, geologia, uso e ocupação) nele interferem. O comportamento temporal da vazão define o regime de descarga, que, como foi visto, é uma das mais importantes variáveis dominantes do sistema fluvial.

3.1 Influência da bacia sobre o escoamento

Em um determinado nível, a relação entre o fluxo acanalado e a precipitação pode ser expressa em termos da contínua circulação de água pelo ciclo hidrológico. A bacia é, pois, um sistema em que a água entra por precipitação e sai por evaporação e por escoamento fluvial. Dependendo da natureza dos sistemas de estoque, do tempo de residência e do padrão climático da bacia de captação, o comportamento do escoamento anual pode ser bastante variado, com períodos de maior escoamento superficial alternando-se com períodos no qual o escoamento é mantido apenas pela água proveniente do lençol freático (**fluxo de base**). Normalmente a vazão (Q) é expressa por um determinado volume de água que atravessa uma seção do canal em uma unidade de tempo, em geral $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ (*cumec*) ou L s^{-1} , conforme a equação $Q = A v$, em que A é a área da seção, e v , a velocidade do fluxo. Para que se possa comparar vazões de bacias de tamanhos variados ou sob diferentes condições climáticas, é necessária uma normalização dos dados. Uma das normalizações mais utilizadas é a *descarga específica* resultante da divi-

4

PROCESSO FLUVIAL DE PRODUÇÃO DE ÁGUA E SEDIMENTO

Todo trabalho realizado por um rio provém da transformação da **energia potencial** (EP) em **energia cinética** (EC) ao longo do perfil longitudinal, de modo que a energia total do sistema seja constante ($ET = EP + EC = \text{constante}$). Assim, a erosão do substrato (ou do próprio depósito aluvial), o transporte de água e sedimento, a deposição temporária da carga sedimentar, a construção e a modificação das estruturas (canais e planícies de inundação), e até a sustentação da ecologia fluvial e a geração de energia elétrica ou mecânica são realizados com essa energia. Qualquer superfície continental com uma pendente mínima propiciará condições de movimentação da água sob a ação da gravidade. O escoamento de água ocorre primeiramente como um fluxo laminar sobre a superfície da vertente (ver Cap. 1), e, à medida que a quantidade de água aumenta, para maior efetividade do escoamento, o fluxo passa a ser através de um canal. Neste capítulo serão tratados os fundamentos da hidráulica do fluxo acanalado, a energia por ele gerada e os processos de erosão ao longo do canal.

4.1 Fluxo acanalado

A gravidade ($g = 9,81 \text{ m s}^{-2}$) e a fricção são as duas principais forças que atuam na água que escoar no canal. A *gravidade* age na direção jusante, movendo a água a uma aceleração ($g_{\text{água}}$) proporcional à pendente (θ):

$$g_{\text{água}} = g \text{ sen } \theta \quad (4.1)$$

A *fricção*, por sua vez, opõe-se ao movimento descendente e é produto da resistência do escoamento entre as próprias moléculas de água, entre a água e as paredes do canal e entre a água e o ar, na superfície do canal. Assim, um fluxo é considerado *uniforme* (não varia com a posição) e *constante* (não varia com o tempo) quando os componentes gravitacionais e de fricção estão balanceados.

PROCESSO FLUVIAL DE TRANSPORTE E SEDIMENTAÇÃO

Durante seu trajeto na rede de drenagem, uma partícula pode ser sedimentada e removida várias vezes. A transferência das partículas sedimentares desde os pontos mais altos da bacia até sua deposição final, geralmente num lago ou oceano, dá-se por uma alternância contínua de processos de erosão, transporte e sedimentação. Trata-se, portanto, de processos coexistentes, e a predominância de um deles, juntamente com a natureza e a quantidade do material transportado, definirá não apenas a eficácia do rio na transferência de sedimento (ou íons em solução) do continente para o oceano, mas o tipo, o tamanho e a forma dos canais e da planície aluvial, bem como terá participação fundamental nas características ecológicas desse sistema. Neste capítulo serão abordados os processos de transporte do material em solução ou particulado pelo canal, bem como a morfologia e a composição dos depósitos associados.

5.1 Transporte fluvial

Estima-se que um rio utilize um mínimo de sua energia para realizar a erosão e o transporte fluvial, sendo a grande maioria convertida em calor provindo da fricção entre a água e as paredes do canal e da turbulência interna do fluxo. A carga transportada procede da bacia de drenagem, de depósitos fluviais prévios (terraço e planície de inundação) e do fundo e das margens do próprio canal; ela pode ser *dissolvida*, no caso de solução iônica ou *carga particulada* ou *clástica*, formada de fragmentos dos mais variados tamanhos. Um rio pode conduzir sua carga para outro rio receptor, para o oceano ou para bacias interiores, no caso de lagos ou bacias endorreicas. Após a erosão, a partícula (ou os íons em solução) inicia sua viagem ao longo do canal (transporte) até sua deposição (sedimentação) final no nível de base do sistema. O trajeto ideal começa em um ponto da bacia de drenagem e termina numa bacia deposicional lacustre ou marinha. Con-

Quadro 5.1 Classificação de formas de leito em areia

| Forma de leito | Dimensão (m)** | Morfologia | Processo | ff (resistência ao fluxo)*** | Regime de fluxo |
|--------------------------------|--|---|--|---------------------------------|--|
| Ondulação | $C < 0,6$ $H < 0,04$ | Perfil triangular, declividade suave para montante e abrupta para jusante, crista bem definida | Geralmente restrita a partículas menores que areia grossa ($< 0,6$ mm), movimento descontínuo | 0,04 a 0,08 Média | |
| Leito plano de regime inferior | $C = 4-12 d$ $H = 0,007$ | Leito plano | Desenvolve-se em partículas entre 0,5 mm e 2 mm (areia grossa, muito grossa e grânulo), forma faixas de areia (<i>sand ribbons</i>) sobre a superfície plana | 0,02 a 0,03 Baixa | Regime de fluxo inferior Subcrítico Froud < 1 Fluxo tranquilo |
| Duna | $C < 50$ $H < 3$ | Semelhante às anteriores, ampla extensão lateral (dezenas de metros), podendo apresentar crista reta ou sinuosa | Pode apresentar superposição das formas menores, exige uma profundidade superior a 4 m para ocorrer | 0,042 a 0,16 Alta | |
| Leito plano de regime superior | $H = 0,001$ a 0,01 | Leito plano ou quase plano | Superfície do leito desprovida de formas de leito | 0,02 a 0,03 Baixa | Regime de fluxo transicional |
| Antiduna | $H = 0,01$ a 0,1 $C =$ varia com a profundidade | Perfil senoidal e simétrico | Ocorre em canais de maior declividade em fase com a ondulação da superfície da água. Dependendo do aporte sedimentar, pode deslocar-se para montante | 0,02 a 0,03 Moderada a baixa | Regime de fluxo superior Supercrítico Froud > 1 Fluxo rápido |
| Onda-de-areia* | $C > 100$ $H > 3$ | Forma complexa composta pela superposição de outras formas, crista em forma de U aberto para jusante | Forma-se nas grandes cheias por superposição de outras formas, geralmente gera barras arenosas com a diminuição do nível de água | | Formas compostas |
| Barra* | Idem | Idem | Forma de leito emersa | | |

*Não são propriamente formas de leito (formas de transporte), mas deposicionais formadas por acumulação de areia durante grandes cheias (ver seção 5.2); ** d = profundidade, H = altura e C = comprimento; *** ff = coeficiente de atrito da equação de Darcy-Weisbach (ver seção 4.1.1 e Fig. 4.4).

Fonte: Jackson (1975), Knighton (1998), Richards (1982) e Bridge (2003).

- a. Ondulações: são pequenas formas de leito com menos de 0,04 m de altura e menos de 0,6 m de comprimento que se desenvolvem transversalmente à direção do fluxo, em regime de fluxo inferior liso ($D/d_y < 1$; ver seção 4.2.2

6

DINÂMICA DE AJUSTE DO CANAL

O canal é a estrutura que o rio constrói para otimizar a energia utilizada para o escoamento da água e do material transportado. Suas dimensões quanto à geometria da seção (largura e profundidade), padrão (arranjo areal dos canais) e perfil longitudinal (pendente) dependem não apenas das características do fluxo (magnitude, velocidade e regime), mas também do tipo de substrato (rochoso ou aluvial) e da natureza (carga de fundo, suspensa ou dissolvida) e da quantidade do material por ele transportado. Os canais podem ser classificados como aluviais ou rochosos. Enquanto os primeiros são construídos pelo próprio material transportado e estocado (**alúvio**) pelo rio, os canais rochosos são escavados diretamente sobre rochas do embasamento. O completo arranjo do canal se dá em diferentes escalas temporais e espaciais. Se por um lado os ajustes em sua morfologia ocorrem em uma escala de tempo relativamente curta (10^0 a 10^3 anos), por outro seu gradiente se ajusta mais lentamente e, em geral, por trechos determinados até definir um perfil longitudinal de uma determinada concavidade. Esse ajuste acontece numa escala temporal cíclica muito mais ampla, superior a 10^5 anos (Knighton, 1998; Bridge, 2003).

Neste capítulo serão vistos os processos que atuam no arranjo da morfologia dos canais e que definem sua geometria e seu padrão. Serão abordados também os fatores que determinam a forma de seu perfil longitudinal.

6.1 Geometria hidráulica em canais aluviais

Uma vez que o fluxo de água e o suprimento de sedimento mudam com o tempo, canais aluviais estão continuamente ajustando sua forma por meio de processos erosivos e deposicionais. Diz-se que um canal se encontra *em regime* quando sua forma oscila em torno de uma condição de equilíbrio em uma determinada escala temporal. Contudo, nem todos os canais encontram-se nessa condição, e há muitos exemplos de rios em condição de *não regime* ou em desequi-

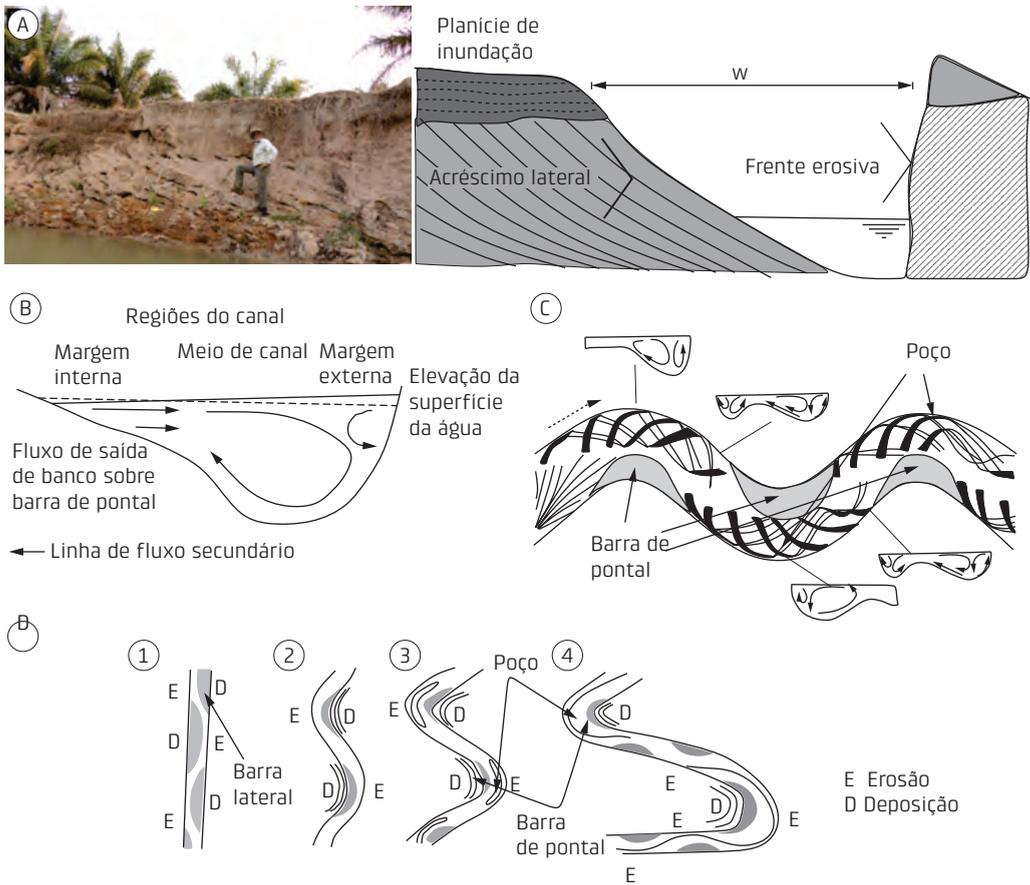


Fig. 6.7 (A) Afloramento de uma barra de pontal com estratificação heterolítica gerada por acreção lateral (foto de F. C. Meira) e seu hipotético canal (esquema); (B) estruturação do fluxo numa curva de meandro; (C) fluxo helicoidal através de uma curva, com a formação de leito em banco (pool and riffle); (D) estágios evolutivos a partir de um canal retilíneo: formação de barras laterais alternadas por ação de fluxo helicoidal (1) (ver Fig. 5.16), aumento de sinuosidade por incremento no fluxo helicoidal (2 e 3) e canal meandrante instalado (4)

Fonte: modificado de (B) Markham e Thorne (1992) e Gorycki (1973), (C) Thompson (1986) e (D) Keller (1972).

A construção de aterros, paredões ou diques de contenção de cheia pode, da mesma forma, limitar o desenvolvimento de meandros, ou seja, a grande magnitude da vazão impede o aumento de d em relação a w (há redução da razão w/d). Um exemplo significativo foi observado por Ramonell et al. (2007) no rio Bermejo, na Argentina (Fig. 6.8B). Nesse caso, uma ponte construída entre 1966 e 1976 mudou as características do canal tanto a jusante como a montante. A estrutura de concreto e o aterro de acesso atuaram como uma barragem durante as cheias, propiciando sedimentação a montante e erosão a jusante. Desse modo, foi estabelecida uma tendência de aumento da sinuosidade no trecho acima da ponte e retificação a jusante.

PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO

Planícies de inundação são áreas adjacentes ao canal do rio inundadas, ao menos parcialmente, pelas cheias ordinárias e que mantêm relações hidrológicas, sedimentológicas e ecológicas com a dinâmica fluvial. Por sua característica predominantemente deposicional, a planície de inundação apresenta um registro sedimentar mais amplo e completo da história fluvial que o canal, e que compreende uma grande variedade de fácies sedimentares e fósseis com possibilidade de datação (geralmente depósitos ricos em matéria orgânica), níveis de pedogênese, além de evidências de ocupação antrópica. Ao contrário dos estudos geomorfológicos e hidrológicos, cujo enfoque é, em sua maioria, dado aos processos do canal, os trabalhos de Ecologia Fluvial e os estudos do Quaternário e de Arqueologia, por exemplo, concentram-se principalmente na planície de inundação. Nanson e Croke (1992) diferem a *planície de inundação hidráulica* da *planície de inundação genética*. No primeiro caso, trata-se de uma superfície sujeita a inundação com um determinado tempo de retorno. Já a planície de inundação genética é um termo geomorfológico para uma área relativamente plana construída em sua maior parte pelo regime do rio atual e sujeita a inundação. Alterações no regime de fluxo podem fazer o canal incisar verticalmente, abandonando a planície e a transformando num **terraço aluvial**, da mesma forma que migrações laterais do canal alteram continuamente a área e a morfologia da planície de inundação. Neste capítulo serão apresentados os ambientes e as morfologias da planície de inundação, bem como a dinâmica de circulação de água e sedimento que ali se desenvolve. Também será feita uma rápida abordagem da importância ecológica da planície de inundação no sistema fluvial.

7.1 Planície aluvial e planície de inundação

Planície aluvial é a unidade geomorfológica formada pelo canal do rio e pela planície de inundação, e, num contexto mais amplo, o termo *vale aluvial* ou *faixa*

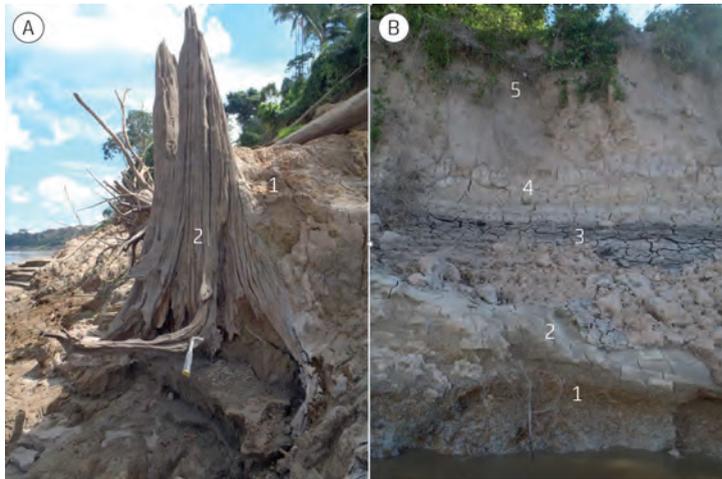


Fig. 7.11 (A) Barranco no rio Madeira, com tronco em posição de vida (2) coberto por sedimentos finos de inundações finos e maciços (1). Troncos como esse podem ser relativamente recentes ou ter vários milhares de anos. Essa sequência foi exposta por erosão lateral do canal. (B) Barranco de 12 m de altura expondo sedimentos da planície de inundações do rio Amazonas próximo a Iquitos, no Peru, com argila maciça cinza-esverdeada de origem palustre (1-2), camadas ricas em restos vegetais e matéria orgânica em geral (folhas e pequenos galhos) (3), camada maciça de sedimento siltoargiloso, bioturbado, que soterrou o ambiente pantanoso anterior (4), e camada de areia muito fina sobrepondo-se a um nível de pedogênese correspondente aos depósitos do dique marginal atual do rio (5)

Lagos, lagoas e pântanos fluviais

Esses corpos de água constituem componentes muito importantes da planície de inundações, e o mosaico lacustre pode exibir grande diversidade em termos de origem, forma e funcionamento. Lagos e pântanos representam as áreas mais rebaixadas e estão inundadas durante praticamente todo o ano. Tendo como base a atividade morfogenética fluvial que os originou, os lagos das planícies aluviais podem ser classificados em dois grandes grupos (Latrubesse, 2012):

- a. *Lagos (ou pântanos) relacionados à migração lateral do canal e a processos de abandono*: lagos em trechos abandonados de canais (atrofia ou avulsão), lagos em meia-lua (*oxbow lakes*) simples ou encadeados, espirais de meandro (*scroll lakes*) simples ou compostas, lagos de acreção lateral por amálgama de barras e ilhas à planície aluvial ou ilhas preexistentes.
- b. *Lagos gerados por formas dominadas por acreção vertical, progradação e inundações que afetam a planície de inundações e os rios tributários*: lagos arredondados, lagos gerados por lobos deltaicos coalescentes, lagos de dique marginal, lagos de dique marginal em ilhas, vales afogados ou bloqueados.

A Fig. 7.12 exemplifica tipos de lago e estilos de planície de inundações em distintos rios brasileiros.

METAMORFOSE FLUVIAL

Por sua própria natureza, um rio está sempre em mudança. Seja no deslocamento de uma pequena forma de leito, seja na erosão de um banco, seja na troca do padrão de canal, a interação entre gravidade, água e sedimento promove uma constante transformação na morfologia e no funcionamento do sistema. Quando as mudanças ocorrem dentro de um determinado limite (ver capítulo introdutório e Fig. I.2), são absorvidas e incorporadas ao sistema fluvial (*retroalimentação negativa*), que prossegue em seu caminho gradativo rumo ao nível de base. Contudo, certas mudanças podem desencadear alterações que se propagam a outras variáveis a ponto de tornarem-se irreversíveis (*retroalimentação positiva*), provocando uma mudança radical no sistema. Nesse caso, pode-se dizer que o sistema sofreu *metamorfose*, ou seja, uma transformação tanto em seu funcionamento como em sua estrutura morfológica que dura acima de 102 anos e com uma magnitude que ultrapassa os ajustes consecutivos das cheias (Bravard; Petit, 2000).

A maioria dos sistemas fluviais encontra-se, em maior ou menor grau, desajustada em face das condições atuantes. Latrubesse e Stevaux (2015) consideram que as ilhas dos arquipélagos de Mariuá e Anavilhanas, no rio Negro, são morfologias herdadas de outro momento, quando as condições de regime e carga sedimentar eram diferentes das atuais. Tendo essas condições sido mudadas no Holoceno Médio, o sistema não conseguiu ainda alterar a morfologia de suas ilhas, e não somente opera em desajuste como se utiliza dessa morfologia herdada para a manutenção da floresta de igapó. Dessa forma, a frase de Leopold, Wolman e Miller (1964) – “um rio, antes de uma origem, tem uma herança” – sintetiza a ideia de um sistema no qual as formas e os processos observados estão influenciados pelas condições presentes e passadas.

Por mudança ou metamorfose fluvial entende-se o elenco de respostas das variáveis dependentes de um sistema fluvial em face de alterações impostas

IMPACTO ANTRÓPICO E MANEJO CONSERVATIVO

Os rios tiveram sempre um papel muito importante no estabelecimento, na sobrevivência e no desenvolvimento da civilização. Uma vez que as comunidades agrícolas primitivas se desenvolviam prioritariamente em áreas ciliares, os problemas causados por enchentes e doenças palustres e a própria barreira física imposta pelo curso de água levaram o homem a estudar e vencer os processos fluviais. A utilização dos recursos hídricos para os mais variados fins implica impactos de intensidade e natureza extremamente variadas cujo entendimento somente veio a ocorrer, em muitos casos, séculos após a interferência. Neste capítulo serão abordados temas referentes às intervenções antrópicas no sistema fluvial (as mudanças naturais foram tratadas no capítulo anterior), bem como serão discutidos os manejos do sistema de maneira a conservar seu funcionamento ou modificá-lo da menor forma possível. O Brasil, país com o maior potencial hidrológico do planeta, provavelmente também é um dos países que mais agride os sistemas fluviais na atualidade. A obstrução por grandes barragens e a poluição urbana e agrícola são os maiores problemas a serem enfrentados pelos geomorfólogos brasileiros.

9.1 Histórico dos impactos em sistemas fluviais

Há mais de 5.000 anos, e em especial nos últimos três séculos, as atividades humanas interagem intensamente com a bacia e o próprio sistema fluvial, de modo que praticamente todos os sistemas fluviais do planeta, em maior ou menor escala, sofreram ou sofrem algum tipo de interferência (Quadro 9.1).

Nas civilizações primitivas, as atividades humanas de modificação do canal eram basicamente voltadas à transferência de fluxo para irrigação e à construção de diques para proteção contra enchentes. Existem evidências de que o rio Nilo, nas proximidades de Mênfis, por exemplo, teria sido represado

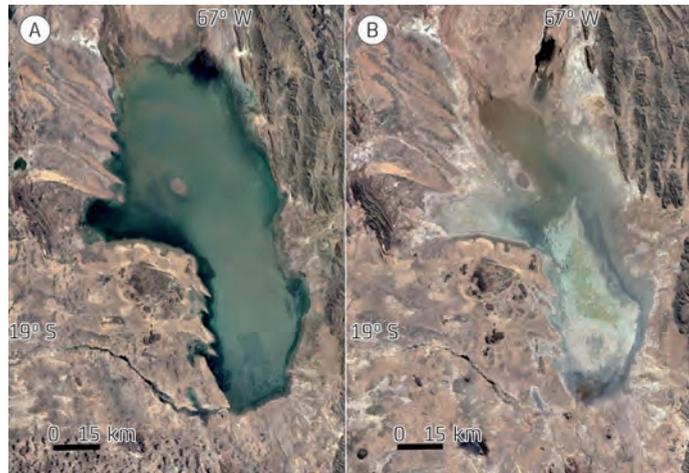


Fig. 9.8 Lago Poopó, no altiplano de Bolívia: (A) dezembro de 1984; (B) dezembro de 2016 (foto do Google Earth Pro)

No Brasil, o caso mais emblemático é o da transposição do rio São Francisco, um projeto inconcluso e mal avaliado quanto a suas consequências ambientais, que tem consumido bilhões de dólares de fundos públicos. A transposição desse rio tem sido, há anos, um assunto relativamente frequente nos noticiários nacionais e tem atraído opiniões apaixonadas de ambos os lados (Izique, 2005). Apesar dos fatos antecedentes de problemas ambientais registrados globalmente nesse tipo de projeto em áreas áridas e semiáridas, o licenciamento da transposição foi forçadamente aprovado pelo governo, sem que existisse o necessário volume de estudos para uma obra de tamanha escala e sem que se considerassem as recomendações do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco. Os poucos trabalhos disponíveis na literatura nacional sobre transposição referem-se mais comumente ao impacto na comunidade ictiológica (Moreira Filho; Buckup, 2005).

9.3 Manejo conservativo

A convivência do homem com sistemas fluviais alterados ou não alterados exige a aplicação de técnicas e metodologias que permitam a exploração necessária dos recursos hídricos com o mínimo impacto, de modo que o sistema mantenha sua estrutura e funcionamento. Para tanto, o manejo deve ser pensado no âmbito da bacia hidrográfica, e não apenas da planície aluvial (Downs; Gregory, 2004). Por meio do **manejo conservativo**, pretende-se utilizar os recursos biológicos e físicos do rio de modo sustentável, numa tentativa de harmonizar e balancear os diferentes empreendimentos que o homem impõe ao ambiente em seu benefício. Para isso, são desenvolvidas estratégias que visam à redução do estresse ambiental, da contaminação e do uso intensivo do ambiente. Dessa forma, o manejo pressupõe estratégias de curta duração (Fig. 9.9) que possibilitem uma preservação de longa duração, ou seja, nenhum processo que provoque uma alteração ambiental