



PROCESSOS FLUVIAIS EM TERRAS SECAS: uma revisão

Jonas Otaviano Praça de Souza
Universidade Federal da Paraíba

Joana D'arc Matias de Almeida
Universidade Federal de Pernambuco

Resumo

A demanda por alternativas que minimizem os efeitos da escassez de água nas regiões áridas e semiáridas incentivam os estudos voltados à dinâmica do sistema fluvial, considerando a compreensão integrada do comportamento do sistema, o que envolve conhecer intimamente os processos de erosão, transporte e deposição de sedimentos. Deste modo, as bacias hidrográficas assumem a representação espacial em vias de análise e planejamento do comportamento do sistema fluvial, ressaltando a relação entre o sistema físico aos sistemas antrópicos. Tal perspectiva proporciona um planejamento e gestão dos recursos hídricos baseado nas características do sistema, sem se restringir apenas aos usos da água. Sendo assim, o presente artigo pretende promover a reflexão e debate conceitual, necessário para a construção do conhecimento referente ao sistema fluvial, sobretudo a sua dinâmica em pequenas bacias em ambientes áridos e semiáridos, fornecendo bases teóricas à comunidade científica, pesquisadores e gestores no que tange a dinâmica fluvial em terras secas.

Palavras-chave: Sistema Fluvial. Dinâmica Fluvial. Terras Secas.

FLUVIAL PROCESSES IN DRYLANDS: a review

Abstract

The demand for alternatives to minimize the effects of water scarcity in arid and semiarid regions encourage studies related to the dynamics of the fluvial system, considering the integrated understanding of system behavior, which involves an intimate knowledge of the processes of erosion, transport and deposition sediments. Thus, watersheds assume the spatial representation in analysis and planning of the river system behavior, emphasizing the relationship between the physical systems to anthropogenic systems. This perspective provides a planning and management of water resources based on system characteristics, not only to restrict water uses. Thus, this paper aims to promote reflection and conceptual debate, necessary for the construction of knowledge related to the fluvial system, particularly its dynamics in arid and semi-arid environments, providing theoretical basis to the scientific community, researchers and managers with respect to dynamic river on drylands.

Keywords: Fluvial System. Fluvial Dynamics. Drylands.

INTRODUÇÃO

O comportamento dos rios e de seus depósitos sedimentares interessa à comunidade científica de um modo geral, sobretudo a profissionais ligados aos estudos ambientais e de planejamento, principalmente pela importância econômica dos rios através dos minerais extraídos dos depósitos sedimentares fluviais (SCHUMM, 1977), bem como aos estudos atrelados ao planejamento ambiental e como suporte ao abastecimento e economia das comunidades locais.

A bacia hidrográfica apresenta-se como objeto de planejamento, e deve ser compreendida como um sistema aberto, que recebe energia por atuação dos agentes climáticos e tectônicos, e perde através da saída de água, sedimento e nutrientes (COELHO NETTO, 1998). Nesta perspectiva, o sistema fluvial compreende as zonas de produção, transporte e deposição de sedimentos, nas quais os sedimentos são estocados, erodidos e transportados em todas as zonas, porém em cada uma apenas um dos processos é dominante (SCHUMM, 1977). Além do conhecimento destes processos (erosão, transporte e deposição) é importante considerar seus fatores condicionantes/controladores, como fatores climáticos e geológicos, envolvidos no suprimento de água e sedimento ao sistema fluvial, que por sua vez, assume o papel de agente modificador da superfície, por sua dinâmica, transportando fluxo de água e sedimentos em constante interação entre o canal e a encosta.

No entanto, mudanças no regime do fluxo de água e sedimento, seja por tectônica ou por eventos hidrológicos, desestabilizam o sistema. Estes eventos tornam-se cruciais ao entendimento das variações do comportamento fluvial em terras secas (GRAF, 1988). Como fator-controle, a precipitação, afeta a natureza e a magnitude do trabalho geomorfológico na bacia de drenagem (COELHO NETTO, 1998; SOUZA, 2011), que para Graf (1988), estes detalhes presentes na superfície das terras secas são produtos da ação fluvial, embora o ambiente seco seja de escassez da precipitação, que funciona como um input de energia, resultando em diferentes formas e estruturas do sistema. Nos períodos de cheia, o que para o ambiente de terras secas significa o período em que há fluxo nos canais, haverá trabalho geomorfológico, assim, o comportamento das cheias influenciará diretamente os processos fluviais (GRAF, 1988). As características do fluxo e da carga de sedimentos, junto ao substrato geológico e à vegetação, exercem ação controladora sobre as formas dos canais (BIGARELLA, SUGUIO & BECKER, 1979). Esses podem ser alterados ainda através do desenvolvimento de atividades antrópicas, como a intensificação da agricultura, implantação de barragens, extração mineral; contribuindo na escavação do leito, assoreamento e erosão nas planícies de inundação. Isto resulta em barramentos/impedimentos à montante e à jusante, que funcionam como elementos desconectantes em relação à transmissão de energia e matéria dentro do canal.

A partir desta perspectiva há a necessidade de entender a bacia de drenagem como um sistema, com elementos em constante interação. Portanto, neste artigo pretende-se construir um arcabouço teórico sobre dinâmica do sistema fluvial, sobretudo no que se refere aos ambientes semiáridos.

O Sistema fluvial

A bacia de drenagem permanece em constante troca de energia e matéria, enquanto sistema não-isolado aberto (CHRISTOFOLETTI, 1999). Alterações nesse sistema, mesmo que de baixa intensidade, levariam à uma situação de desestabilização/desequilíbrio do sistema, devido ao grande número de interações e retroalimentações dos sistemas naturais (DREW, 2005).

Mattos e Perez Filho (2004) ao defenderem o estudo sistêmico e complexo das bacias hidrográficas falam da impossibilidade da compreensão das bacias a partir de estudos isolado dos elementos:

A bacia hidrográfica não pode ser entendida pelo estudo isolado de cada um dos seus componentes: sua estrutura, funcionamento e organização são decorrentes das inter-relações desses elementos, de modo que o todo resultante não é resultado da soma da estrutura, funcionamento e organização de suas partes. Analisar separadamente os processos que ocorrem nas vertentes e aqueles que acontecem nos canais fluviais não permite compreender como o sistema bacia hidrográfica funciona enquanto unidade organizada complexa (MATTOS e PEREZ FILHO, 2004, p. 17).

A partir da premissa de que a bacia hidrográfica é uma unidade sistêmica há a necessidade de explicitar o conceito de bacia hidrográfica que é múltiplo, seguindo a perspectiva e objetivo de cada estudo. Dentro da perspectiva geomorfológica Coelho Netto (1998) classifica a bacia de drenagem como um sistema hidrogeomorfológico, ao afirmar que “a bacia de drenagem é uma área da superfície terrestre que drena água, sedimentos e materiais dissolvidos para uma saída comum, num determinado ponto de um canal fluvial” (COELHO NETTO, 1998, p. 97-98).

Assim, em alguns trabalhos a bacia hidrográfica é tratada como delimitação da área de pesquisa, sendo a delimitação do sistema estudado. Sendo definida como parte da superfície terrestre que é ocupada por um sistema de drenagem ou drena água para aquele sistema de drenagem, sendo sinônimo de bacia de drenagem, e compreendendo uma unidade de caráter espacial (SUGUIO, 1998).

Assim, os elementos, processos e estruturas estudadas numa micro-bacia estarão epistemologicamente amparados no conceito de sistema fluvial, que é entendido como a zona fonte de sedimentos, a rede de transporte e os sítios de deposição. Esses elementos não são espacialmente excludentes, interagindo entre si, além de apresentar escalas diferenciadas. Para compreender as inter-relações, ou algum dos elementos em separado; é necessário compreender o comportamento dos rios, o aporte de água na zona fonte de sedimento, qual quantidade e tipo de sedimento disponível, como são os controles climáticos e geológicos e o que eles afetam, qual o uso do solo e cobertura vegetal e sua relação com as zonas do sistema fluvial, etc. (SCHUMM, 1977).

Processos fluviais e formas resultantes nas terras secas

Há poucos trabalhos que abordam os processos fluviais em terras secas, principalmente na literatura nacional, quase que inexistindo trabalhos de ênfase compilatória sobre as questões relacionadas com o assunto. Willian L. Graf com o livro *"Fluvial Process in Dryland Rivers"*, publicado inicialmente em 1988, constrói/compila um arcabouço teórico específico sobre o tema. No início do livro afirma: "um dos mais surpreendentes paradoxos das terras secas do mundo é que embora elas sejam terras com pouca chuva, os detalhes das suas superfícies são, sobretudo, produto das ações dos rios" (GRAF, 1988, p. 3, tradução do autor). Ou seja, para entender as terras secas é necessário compreender os processos fluviais.

Os processos em ambientes semiáridos, e em ambientes sub-úmidos, apresentam características processuais diferenciadas em relação aos ambientes úmidos. Essa diferenciação é resultado da diferença dos inputs de energia no sistema, em específico da precipitação. Por conseguinte, a diferenciação processual vai resultar em uma diferenciação das formas e estrutura no sistema.

Nas terras secas o escoamento superficial representa a contribuição de massa e energia para a rede de drenagem e estímulo para processos fluviais, como também o trabalho geomorfológico exercido pelo escoamento está relacionado aos processos fluviais pelo fornecimento de sedimentos (GRAF, 1988). Para se analisar a relação entre precipitação e escoamento é necessário avaliar o estado da bacia, porque "se houver uma precipitação sobre a bacia previamente supersaturada, o escoamento será totalmente superficial, não havendo mesmo evaporação se a umidade do ar estiver saturada" (BIGARELLA, SUGUIO e BECKER, 1979, p. 9). A saturação do solo está relacionada com a capacidade de infiltração do mesmo, que é colocada como uma das características que apresentam forte sensibilidade, com valores flutuantes relacionados ao uso e conservação do solo, como também a alterações naturais das características do solo ou da cobertura superficial (LOVELL e JOHNSTON, 2009); a partir dessas mudanças o volume do escoamento superficial é mutável, e vai depender do estado do sistema (BURT, 2001).

Entre os fatores relacionados com o escoamento superficial a vegetação pode ser entendida como o fator mais sensível, ou seja, mais passível de sofrer modificações, naturais e principalmente antrópicas. Essas modificações influenciam diretamente o escoamento superficial, desse modo a modificação da distribuição e dos padrões da vegetação podem ser compreendidos como variável modificante para o escoamento superficial, principalmente quando a análise trabalhar com o tempo histórico. Assim analisando as modificações dos padrões e distribuição da vegetação no semiárido pode-se ter indicações da variação do escoamento superficial, e conseqüentemente da mudança nas fontes de sedimento e das áreas de sedimentação (IMESON e PRINSEN, 2004; KASAI, BRIERLEY, *et al.*, 2005). Normalmente o escoamento aumenta com a retirada da vegetação, relação visível principalmente em bacias de pequeno porte (TUCCI e CLARKE, 1997).

A resposta do escoamento superficial à precipitação em terras secas pode ser dividida em resposta local; relacionada com as características do solo e cobertura superficial, e do uso do solo (cobertura vegetal e uso antrópico); e a resposta

topográfica, relacionada com a topografia e o nível de conectividade da área – capacidade de transmissão de energia e matéria (KIRKBY, BRACKEN e SHANNON, 2005).

Há diversos métodos e técnicas para tentar quantificar o escoamento superficial, tanto teóricos quanto práticos, tentando sempre relacionar as características da precipitação com a capacidade de infiltração e armazenamento. Para tanto, além da análise da precipitação, é necessário analisar os solos; a cobertura superficial; o estado e tipo da vegetação; e o uso e ocupação do solo (LEOPOLD, WOLMAN e MILLER, 1964; GRAF, 1988).

A taxa de erosão nos climas semi-áridos, principalmente os na faixa de 400mm-500mm anuais, foi considerada máxima em relação aos demais sistemas morfoclimáticos da Terra (LEOPOLD, WOLMAN e MILLER, 1964; GRAF, 1988). Contudo o aumento dá-se principalmente por causa da sazonalidade climática anual, por isto outras áreas que também apresentam climas sazonais, como as áreas de monções, também apresentam taxas altas de erosão, inclusive maiores que nas áreas semiáridas (WALLING e WEBB, 1996), devido à relação entre quantidade de precipitação e vegetação. Contudo outros fatores influenciam as taxas de produção de sedimento, tais como as características do solo e a declividade.

Essas estimativas de taxas de erosão analisam o ambiente a partir da vegetação natural, contudo com a retirada da vegetação há uma desestabilização do sistema e um aumento da erosão. Monteiro (1988) apresenta uma sequência, resultado do uso do solo, desestabilizadora da morfodinâmica semiárida em três etapas: mudança da resiliência potencial da vegetação; aumento do intemperismo mecânico e da produção de cascalho; e perturbação dos ecossistemas e sistemas de drenagem a jusante (CORRÊA, 2006). Nos sistemas semiáridos é comum a retroalimentação positiva, onde surge uma acelerada degradação dos solos, em decorrência do uso (DREW, 2005; SACO, WILGOOSE e HANCOCK, 2007).

Relacionando o uso agrícola da terra a partir da agricultura de sequeiro, comum na área de pesquisa (em algumas áreas da bacia há irrigação, o que acaba modificando as datas agrícolas), com a erosão dos solos; normalmente a cultura é plantada no início do período chuvoso e colhida no período seco; ou seja, no início das chuvas o solo de uso agrícola está desprotegido, deste modo há um aumento da erosão e da taxa de produção de sedimentos (TUCCI e CLARKE, 1997; GUERRA, 2004).

Uma das respostas à erosão das encostas nas terras secas são as terras más (*badlands*) que são paisagens extremamente dissecadas formadas por uma densa rede de drenagem erodindo sedimento pouco consolidados pela falta de proteção da cobertura vegetal. Naturalmente as terras más se desenvolvem a partir de um controle do material, que normalmente é pouco consolidado e apresenta alta taxa de argila (GRAF, 1988). Há também a possibilidade da terra má se formar em regiões com presença de granito:

Complexa feição geomorfológica, intensamente ravinada, originada por água pluvial. Este tipo de relevo é mais característico das regiões de granito decomposto,

arcósio ou de solo argiloso, formando vertentes pobres em vegetação, sob condições de climas áridos (SUGUIO, 1998, p. 746).

Um outro processo, associado ou não com as terras más, é a chamada erosão em tunel (*piping* ou *tunnel erosion* na Austrália) desenvolvida em sub-superfície a partir da infiltração da água, normalmente em solos com mudança textural entre os horizontes, e seu escoamento posterior em forma de túnel. A saída do tunel pode ser uma ravina, margem do rio, ou um riacho (GRAF, 1988). Em alguns casos há o desabamento do teto do tunel formando uma ravina ou canal entrecheirado.

Os dutos são responsáveis pelo transporte de grande quantidade de material, em subsuperfície e, à medida que esse material vai sendo removido, se vão ampliando os diâmetros desses dutos, podendo resultar no colapso do solo situado acima (GUERRA, 1995).

As formas mais vastas e comuns nas terras secas, normalmente, são os pedimentos. Superfícies rochosas suavemente inclinadas, esculpidas em rochas homogêneas, ou não, localizadas a partir do sopé de uma escarpa. A mudança entre a escarpa e o pedimento dá-se a partir de uma ruptura brusca de ângulo (*knickpoint*); podendo existir uma delgada cobertura detrítica colúvio-aluvial, mal selecionada e não estratificada, havendo essa cobertura a forma é chamada de pedimento detrítico (CHRISTOFOLETTI, 1980). Este pavimento detrítico tem sua gênese relacionada com a remoção dos sedimentos finos pelo escoamento superficial não canalizado (SCHUMM, 1977).

Suguió (1998) acrescenta que os pedimentos são gerados sobre embasamento cristalino, ao definir pedimento deste modo:

Superfície erosiva, situada no sopé de montanhas ou no interior de vales, levemente inclinada e esculpida sobre o embasamento cristalino (*crystalline basement*) e, em geral exibindo uma delgada cobertura de cascalhos fluviais. Normalmente esta feição é originada em climas secos (árido a semi-árido) (SUGUIO, 1998, p. 589).

Apesar da definição acima, o pedimento pode ser formado em outros climas, além das terras secas, como também em embasamento sedimentar; contudo é sob os climas áridos e semiáridos e em embasamento sedimentar que os pedimentos apresentam um maior desenvolvimento (GRAF, 1988).

Outra forma comum nas terras secas, embora não exclusivas a elas, são os leques aluviais formados a partir da passagem de um canal confinado com declividade alta para um trecho não confinado e com declividade baixa, como nos sopés das

escarpas. A diminuição da declividade e a mudança das margens fazem com que os sedimentos transportados pelo canal se espalhem em formas de cones (GRAF, 1988; SUGUIO, 1998).

Como há um menor retrabalhamento do leque nas terras secas, resultado dos processos em pulsos (não contínuos), pode haver coalescência dos leques, podendo formar as chamadas planícies aluviais de piemonte (GRAF, 1988; SUGUIO, 1998). Características do leque como tamanho, declividade e textura estarão relacionadas com as características físicas da área daquele leque (SCHUMM, 1977).

Os leques aluviais de rios efêmeros/intermitentes apresentam materiais retrabalhados com variações horizontais e verticais dos depósitos, podendo haver granudescência ascendente ou o inverso (GRAF, 1988). As variações do fluxo podem erodir o leque formando canais de padrão anastomosados (CUNHA, 1995).

Nas terras secas os rios permanecem sem fluxo a maior parte do ano, havendo fluxo de água nos canais apenas durante as precipitações - rios efêmeros - ou estação chuvosa - rios intermitentes (BIGARELLA, SUGUIO e BECKER, 1979). Para analisar o fluxo de canal, nesses ambientes, é necessário compreender os eventos de cheias, sendo que a cheia é o evento onde há um aumento do fluxo fora do padrão que submerge áreas que, normalmente, não são inundadas (GRAF, 1988). Deste modo, quando há fluxo de água nos canais, nas terras secas, pode-se compreender como eventos de cheia, visto que o padrão é quando os canais estão secos.

Os estudos quantitativos dos fluxos de canal em canais de terras secas apresentam características e problemas diferentes em relação a canais em ambientes úmidos. Por exemplo, o cálculo da descarga do rio, onde a descarga ($m^3.s$) é a velocidade do fluxo ($m.s$) multiplicada pela profundidade do canal (m) e pela largura do canal (m) apresenta uma maior dificuldade de ser medido. As medições de campo utilizando equipamentos não podem ser realizadas devido a instabilidade do leito do rio e das margens durante as cheias; ao se pensar em modulações matemáticas para o cálculo há dificuldade relacionadas aos dados de profundidade do canal (causados pela instabilidade do leito do rio) e, também relacionadas ao cálculo da velocidade que necessita de dados sobre a textura do rio (novamente os problemas de instabilidade do leito do rio influenciam, como também as diferenças entre o leito do rio e a superfície das margens durante as cheias) (GRAF, 1988).

Ao falar das cheias Graf (1998) defende que nas terras secas a resposta do aumento do fluxo às precipitações é mais rápida do que em regiões úmidas. E apresenta sete fatores controladores nas variações, espaciais e/ou temporais, dos picos de descarga:

Área da bacia de drenagem, intensidade da precipitação para uma determinada duração e frequência, declividade do canal principal, o comprimento da bacia, a área das superfícies de lagos e lagoas, a relação entre o escoamento superficial e a precipitação para os meses

de picos de descarga, e o número por ano de dias com tempestade (GRAF, 1988, p. 89-90, tradução do autor).

Há basicamente quatro tipos de cheias: cheias rápidas (*flash floods*), evento de pico único, evento de picos múltiplos, e inundações sazonais. Esses tipos de cheia não são temporalmente excludentes entre si e tem uma dependência espacial/escalar parcial; um exemplo disso são as cheias rápidas ocorrendo nos canais menores enquanto que cheias sazonais ocorrem nos canais maiores (GRAF, 1988).

Contudo não há um padrão temporal exato para a distribuição desses eventos, havendo apenas tendências temporais de repetições; sendo flutuações da precipitação alterando o volume das cheias de maneira complexa, ou seja, não significa que um aumento de 25% na precipitação irá aumentar o volume de água das cheias em 25% sendo as interações complexas (LEOPOLD, WOLMAN e MILLER, 1964).

As cheias rápidas normalmente estão associadas a chuvas convectivas relacionadas a células convectivas pequenas limitando assim a área de efeito das cheias rápidas em cerca de 100 km². E são caracterizadas pelo aumento rápido do nível da água, atingindo o pico em minutos ou poucas horas, e pelo avanço de uma “onda/muro” de água turbulenta. O fluxo costuma cair a zero depois do evento chuvoso (GRAF, 1988).

As cheias de pico único têm sua origem em um evento de precipitação de maior duração, de algumas horas até alguns dias, e escala que atinge uma intensidade máxima e posteriormente cessa. O comportamento do fluxo é semelhante ao comportamento do evento gerador; o fluxo surge, mantêm-se, cresce até o pico, e depois retorna ao nível inicial (GRAF, 1988).

As cheias de picos múltiplos são resultados um conjunto de eventos de precipitação, gerados por sistemas estacionários, com duração de poucos dias ou até semanas. Os diferentes picos de cheia são resultados de eventos, ou momentos, de maior intensidade de precipitação dentro do período da cheia, havendo vários eventos os quais aumentam significativamente o nível de fluxo dos canais; como também podem ser relacionados a eventos localizados em áreas menores da bacia que contribuem para o rio principal (GRAF, 1988).

As cheias sazonais ocorrem em bacias maiores e são geradas a partir de múltiplos eventos variados, em suas várias áreas de captação. O fluxo é mantido acima do normal, que no caso das áreas semiáridas consiste em haver fluxo nos canais, durante alguns meses, normalmente os meses da estação chuvosa (GRAF, 1988).

Ao se entender que nas terras secas são nos períodos de cheia que o trabalho geomorfológico será realizado, pois é durante eles que há fluxo no canal e escoamento superficial, é necessário analisar a relação magnitude e frequência das cheias. Além do forte controle climático nessa relação, as ações antrópicas afetam diretamente, principalmente quando são ações de engenharia específicas para lidar com a regulação das cheias ou das secas (GRAF, 1988). A modificação do comportamento das cheias dos rios de terras secas age diretamente sobre os processos fluviais, e conseqüentemente suas formas; casos como perenização de rios (uma das propostas relacionadas com a integração do Rio São Francisco)

intermitentes/efêmeros geram entropia desestabilizando os sistemas fluviais correlatos, contudo ainda não há estudos suficientes sobre essa desestabilização (CORRÊA, SILVA, *et al.*, 2009).

Um ponto importante a se comentar é a diminuição do fluxo relacionada com a infiltração da água no leito (em áreas de leito não rochoso) e nas margens dos canais (barras, planícies de inundação). Essa infiltração resulta no armazenamento de água, utilizável após a estação de cheia, como é o caso das escavações de leito do rio, realizadas no semiárido pernambucano, para obtenção de água (SOUZA, 2008). Essa infiltração pode atingir volume considerável, acumulando grande quantidade de água, chegando até 29%, do fluxo do canal; e ao mesmo tempo causa uma diminuição no nível das cheias (GRAF, 1988).

Os rios das terras secas apresentam, como carga de sedimentos, sedimentos em suspensão e sedimentos de carga de fundo, com ínfima participação de sedimentos dissolvidos. Há também um aumento na proporção de sedimentos de carga de fundo sendo a carga de maior volume para esses rios (LEOPOLD, WOLMAN e MILLER, 1964; GRAF, 1988). Os sedimentos movem-se por pulsos nos momentos que há fluxo no canal, dificultando os estudos de planejamento que dependem de valores de transporte constante. Durante as cheias de maior magnitude tanto aumentam as distâncias dos pulsos como também a granulometria máxima envolvida.

A carga em suspensão é formada pelos sedimentos mais finos, e, no caso das terras secas, tem sua origem na carga resultado da “lavagem” das encostas e dos pedimentos das margens assim como do retrabalhamento dos sedimentos do leito do canal. Há vários modelos teóricos e metodologias práticas para o estudo sobre a carga em suspensão nos rios semiáridos, contudo as complexidades envolvidas na questão; fornecimento de sedimentos em pulsos, variações espaciais e temporais de volume de carga, dificuldades relacionadas às práticas; não permitem análises generalistas ou preditivas sobre a carga em suspensão, sendo feito análises pontuais sobre o assunto (GRAF, 1988).

Os estudos sobre a carga de fundo são mais desenvolvidos, contudo ainda apresentam dificuldades metodológicas práticas e faltam modelagens específicas para de terras secas. Entre as características complexas que dificultam a análise temos: a troca constante e intensa de material entre a carga de fundo e o leito do rio; a carga de fundo movimentam-se lentamente, mas as partículas individualmente movimentam-se através de “passos” rápidos entre os momentos parados; os passos médios das partículas aparentemente não depende de outras características como as condições de fluxo ou a taxa de transporte; as taxas de transporte estão relacionadas com o tempo médio entre os “passos” das partículas e com a espessura da camada de carga de fundo (GRAF, 1988).

As características do fluxo e da carga sedimentar dos canais nas terras secas, aliadas com as características do substrato geológico e estado da vegetação do vale fluvial vão controlar as formas desenvolvidas nos canais e adjacências, formando um complexo de formas particulares, não exclusivas, das terras secas.

Os canais retilíneos, nas terras secas, ocorrem quando há um controle litológico das margens e uma maior declividade, normalmente próximo das cabeceiras, onde não há um grande aporte de sedimentos no canal, sendo comum a sequência de corredeiras e depressões no seu leito (GRAF, 1988). Eles também

podem se encaixar em linhas de fraqueza e entalhá-las, sendo comuns canais retilíneos em áreas com forte controle estrutural (SCHUMM, 1977).

Os canais entrelaçados apresentam um volume de sedimento formadores da carga de fundo até cinco vezes a carga de fundo de um canal não entrelaçados (CHRISTOFOLETTI, 1980). A relação de longos períodos de estiagem, pouca cobertura vegetal favorecem o aumento da carga de fundo e a formação dos canais entrelaçados (BIGARELLA, SUGUIO e BECKER, 1979). Esse volume maior de carga de fundo é responsável pela formação de depósitos de areia e cascalho como barras, longitudinais e laterais, que podem sofrer processo de estabilização e transformar-se em ilhas. A quantidade de ilhas e barras no canal o subdivide, assim os canais anastomosados são formados por diversos “sub-canais” entrecortados pelas ilhas e pelas barras (BIGARELLA, SUGUIO e BECKER, 1979; CHRISTOFOLETTI, 1981). Durante as cheias há rápidas mudanças na localização e geometria desses canais, podendo gerar, através de relocação lateral, os chamados canais enterrados (GRAF, 1988).

Os rios meandantes desenvolvem formas diferentes em relação aos canais anastomosados, um dos motivos é a diferença do volume de carga de fundo. Os depósitos comumente associados a esses canais são as barras de meandro que apresentam granudescendência ascendente, com os materiais grosseiros na base e os finos no topo, porém é comum quebras na granudescendência (GRAF, 1988).

O fluxo em canais meandantes sofrem alterações de velocidade e direção havendo uma alternância erosiva entre as margens, ou seja, na curvatura dos meandros a margem côncava será erodida e a margem convexa sofre deposição de barras de meandros; esse processo também gera a migração lateral do canal (LEOPOLD, WOLMAN e MILLER, 1964). Contudo mudanças no leito do rio causam alteração da direção do fluxo podendo modificar o lado da margem erosiva de um meandro, como pode ser o caso das escavações de leito do rio no semiárido nordestino (SOUZA, 2008), erodindo as planícies de inundação adjacentes utilizadas para agricultura (FERNANDEZ, SANDER e REBELATTO, 2002) nas terras secas.

A planície de inundação pode ser entendida como a faixa do vale fluvial composta de sedimentos aluviais bordejando o curso de água e periodicamente inundada pelas águas de transbordamento provenientes do rio, ocorrente no momento que o fluxo supera o estágio chamado margem plena (*bankfull*) (CHRISTOFOLETTI, 1980). A formação das planícies de inundação é por acresção lateral e acresção vertical (THOMS, 2003).

As planícies de inundação apresentam, em terras secas, múltiplos níveis acima do nível do canal, isso resulta da grande variação das magnitudes das cheias, alguns patamares (níveis) das planícies de inundação podem permanecer anos ou décadas sem serem atingidos novamente (THOMS, 2003), sendo possível encontrar vários níveis diferentes sob o nível atual da planície; normalmente os canais anastomosados não apresentam planícies de inundação adjacente (GRAF, 1988).

Em áreas agrícolas com baixo aporte tecnológico, nas terras secas, o desenvolvimento econômico das populações está ligado às planícies de inundação (THOMS, 2003), sendo comum uma distribuição da população seguindo as características funcionais da paisagem (SOUZA, 2008; CORRÊA, SILVA, *et al.*,

2009). Sendo que as alterações no sistema podem levar à erosão das planícies de inundação, diminuindo assim as áreas viáveis de plantio para as populações (SOUZA, 2008).

Há também, nas terras secas formas resultados de instabilidade vertical, como os canais entrincheirados, formados a partir da escavação do leito em áreas com presença de planícies de inundação, onde o aumento da incisão fluvial acaba transformando as planícies de inundação em terraços fluviais (GRAF, 1988). A instabilidade pode ser resultado de vários fatores como: aumento do fluxo no canal, mudanças no nível de base, aumento da precipitação. Essa mudança de base pode ser resultado da construção de represamentos, tectonismo, ou até resultado de deposição de uma carga superior de sedimentos, que temporariamente mudam o nível de base e ao mesmo tempo disponibilizam sedimentos para remoção/entrincheiramento (SCHUMM, 1977).

Entre os diversos impactos resultados das atividades antrópicas nos rios de terras secas o de maior significado são as construções de barramentos nos rios. Os impactos influenciam tanto a montante quanto a jusante do barramento.

Inicialmente, a montante, há a mudança do nível de base, que fica ajustado ao nível da água, contudo esse novo nível de base não é constante seguindo as flutuações do nível de água do reservatório. Causando uma série de modificações nos processos associados, parte processos fluviais e parte processos lacustres (GRAF, 1988). Caso haja a retirada do barramento do canal, há a possibilidade que os processos lacustres tenham formado uma planície lacustre com características semelhantes às planícies de inundação em relação ao uso agrícola (SOUZA, 2008; CORRÊA, SILVA, *et al.*, 2009).

A mudança no nível de base modifica a velocidade do fluxo, diminuindo a velocidade o que gera um aumento da sedimentação a montante, gerando retroalimentações que modificam as formas e os processos associados. O maior nível de sedimentação ocorre nos primeiros anos, indo aos poucos se estabelecendo um novo equilíbrio (GRAF, 1988). A sedimentação a jusante pode preencher canais de menor porte, ravinas/voçorocas e canais entrincheirados; como também diminuir a profundidade do canal principal, que ao ajustar-se acaba ampliando suas margens, como também durante o processo de ajuste haja a formação de planícies de inundação. A distância afetada pela mudança de nível de base é variável para cada sistema fluvial, de centenas de metros a alguns quilômetros (LEOPOLD, WOLMAN e MILLER, 1964).

A jusante os barramentos impõe uma mudança drástica no regime do rio, diminuindo consideravelmente o volume do fluxo, e aprisionando grande parte do sedimento transportado. O fluxo liberado contém baixa carga de sedimentos, deste modo apresenta uma maior capacidade erosiva que resulta em um aumento da erosão a jusante da barragem (GRAF, 1988).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente artigo não teve a pretensão de aprofundar em uma discussão sobre o sistema fluvial, mas sim apresentar um levantamento teórico sobre os principais conceitos relacionados aos processos fluviais semiáridos e suas formas

resultantes, especialmente para pequenas bacias semiáridas, bem como a importância do conhecimento destes conceitos para a compreensão da dinâmica dos sistemas fluvial semiáridos.

A dinâmica do sistema fluvial no que tange os processos de produção, transporte e deposição de sedimentos em uma bacia fluvial é de conhecimento fundamental e constitui análise a priori na fundamentação de projetos relacionados aos planejamentos hídrico, ambiental e territorial.

Portanto, considera-se notória a necessidade de construção de um arcabouço conceitual sobre o tema em questão, principalmente no que se refere a estudos mais detalhados para o semiárido brasileiro, visto que há importantes lacunas de conhecimento nas questões relacionadas ao comportamento fluvial em terras secas, enquanto que ao mesmo tempo a região semiárida brasileira é uma das que mais necessitam informações detalhadas de seus rios visando uma otimização desses espaços e dos recursos hídricos. Deste modo, o presente trabalho pretendeu contribuir para um melhor entendimento do sistema fluvial e seus processos, para que o conhecimento neste tema possa ser difundido e novos trabalhos venham a ser desenvolvidos.

REFERÊNCIAS

BECKER, F. G. Aplicações de sistemas de informação geográfica em ecologia e manejo de bacias hidrográficas. In: SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F. M. **Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações**. Ilhéus: Editus, 2008. p. 91-110.

BIGARELLA, J. J.; SUGUIO, K.; BECKER, R. D. **Ambiente Fluvial: Ambientes de Sedimentação, sua interpretação e importância**. 1ª. ed. Curitiba: Editora da Universidade Federal do Paraná. Associação de Defesa e Educação Ambiental, 1979.

BOTELHO, R. G. M. Planejamento ambiental em microbacia hidrográfica. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. **Erosão e Conservação dos Solos - conceitos, temas e aplicações**. 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005. p. 269-300.

BOTELHO, R. G. M.; SILVA, A. S. Bacia hidrográfica e qualidade ambiental. In: VITE, A. C.; GUERRA, A. J. T. **Reflexões sobre a Geografia Física Brasileira**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. p. 153-192.

BRIERLEY, G. J.; FRYIRS, K. A. **Geomorphology and River Management: Applications of the River Styles Framework**. Oxford: Blackwell Publications, 2005.
BURT, T. P. Integrated management of sensitive catchment systems. **Catena**, v. 42, p. 275-290, 2001.

CAMPOS, H. L. Gestão de bacia hidrográfica: pressupostos básicos. In: SÁ, A. J.; CORRÊA, A. C. B. **Regionalização e análise regional: perspectivas e abordagens contemporâneas**. Recife: Editora Universitária, 2006. p. 91-111.

COELHO NETTO, A. L. Hidrologia de encosta na interface com a geomorfologia. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998. p. 93-148.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgar Blücher, 1980.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia Fluvial**. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 1981.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Edgar Blücher, 1999.

CORRÊA, A. C. B. O geossistema como modelo para a compreensão de mudanças ambientais pretéritas: uma proposta de geografia física como ciência histórica. In: SÁ, A. J.; CORRÊA, A. C. B. **Regionalização e Análise Regional: perspectivas e abordagens**. Recife: Universitária, 2006. p. 33-45.

CORRÊA, A. C. B. et al. Estilos fluviais de uma bacia de drenagem no submédio São Francisco. **Revista de Geografia - Recife**, v. 26 n 1, p. 181-215, 2009.

CUNHA, S. B. Geomorfologia fluvial. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1995. p. 211-251.

DREW, D. **Processos interativos homem-meio ambiente**. 6. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005.

FERNANDEZ, O. V. Q.; SANDER, C.; REBELATTO, G. E. Sequencia de soleiras e depressões no córrego Guavirá, Marechal Cândido Rondon, região oeste do Paraná. **Revista Brasileira de geomorfologia**, v. 3 n.1, p. 49-57, 2002.

GRAF, W. L. **Fluvial Process in Dryland Rivers**. Caldwell: The Blackburn Press, 1988.

GUERRA, A. J. T. Processos erosivos nas encostas. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 2ª. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1995. p. 149-209.

GUERRA, A. J. T. Geomorfologia aplicada: algumas reflexões. In: SANTOS, J. M.; FARIAS, M. **Reflexões e construções geográficas contemporâneas**. Salvador: Grasb, 2004. p. 144-161.

GUERRA, A. J. T.; MENDONÇA, J. K. S. Erosão dos solos e a questão ambiental. In: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. **Reflexões sobre a geografia física no Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007. p. 225-256.

IMESON, A. C.; PRINSEN, H. A. M. Vegetation patterns as biological indicators for identifying runoff and sediment source and sink areas for semi-árid landscapes in Spain. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 104, p. 333-342, 2004.

KASAI, M. et al. Impacts of land use change on patterns of sediment flux in Weraamaia catchment, New Zealand. **Catena**, v. 64, p. 27-60, 2005.

KIRKBY, M. J.; BRACKEN, L. J.; SHANNON, J. The influence of rainfall distribution and morphological factors on runoff delivery from dryland catchments in SE Spain. **Catena**, v. 62, p. 136-156, 2005.

LEOPOLD, L. B.; WOLMAN, M. G.; MILLER, J. M. **Fluvial process in geomorphology**. Mineola: Dover Publications, INC, 1964.

LORANDI, R.; CANÇADO, C. J. Parâmetros físicos para gerenciamento de bacias hidrográficas. In: SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F. M. **Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações**. Ilhéus: Editus, 2008. p. 37-65.

LOVELL, S. T.; JOHNSTON, D. M. Designing landscape for performance based on emerging principles in landscape ecology. **Ecology and Society**, v. 14 (1) : 44, 2009.

MATTOS, S. H. V. L.; PEREZ FILHO, A. Complexidade e estabilidade em sistemas geomorfológicos: uma introdução ao tema. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 5 n.1, p. 11-18, 2004.

PIRES, J. S. R.; SANTOS, J. E.; DEL PRETTE, M. E. A utilização do conceito de Bacia Hidrográfica para a conservação dos recursos naturais. In: SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F. M. **Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações**. Ilhéus: Editus, 2008. p. 17-35.

SACO, P. M.; WILGOOSE, G. R.; HANCOCK, G. R. Eco-geomorphology of banded vegetation patterns in arid and semi-arid regions. **Hidrology and Earth System Sciences**, v. 11, p. 1717-1730, 2007.

SANTOS, J. M. Na esteira da abordagem sistêmica. In: SANTOS, J. M.; FARIA, M. **Reflexões e construções geográficas contemporâneas**. Salvador: Grasb, 2004. p. 35-57.

SCHUMM, S. A. **The fluvial system**. Caldwell: The Blackburn Press, 1977.

SOUZA, J. O. P. **Sistema fluvial e planejamento local: um caso semi-árido – micro-bacia do riacho Mulungu, Belém de São Francisco – PE**. 2008. Monografia (Graduação). Universidade Federal de Pernambuco. Departamento de Ciências Geográficas. Recife, p. 43. 2008.

SUGUIO, K. **Dicionário de geologia sedimentar e áreas afins**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998.

THOMS, M. Floodplain-river ecosystems: lateral connections and implications of human interference. **Geomorphology**, v. 56, p. 335-349, 2003.

THORNES, J. B.; BRUNSDEN, D. **Geomorphology & Time**. London: Methuen & Co, 1977.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia**: ciência e aplicação. Porto Alegre: Editora da Universidade: BRH: EDUSP, 1993.

TUCCI, C. E. M.; CLARKE, R. T. Impactos das mudanças da cobertura vegetal no escoamento: revisão. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 2 n.1, p. 135-152, 1997.

WALLING, D. E.; WEBB, B. W. Erosion and sediment yield: a global overview. **Erosion and Sediment Yield: Global and Regional Perspectives**, v. 236, p. 3-19, 1996.

Contato com o autor: raziel_jonas@yahoo.com.br

Recebido em: 10/05/2015

Aprovado em: 06/06/2015