

TEORIAS ECOLÓGICAS SOBRE RIOS

Albano Schwarzbald

A compreensão sistêmica dos rios – funcionalidade, organização interna, modificações provocadas pela ação humana – pressupõe o conhecimento de variáveis que atuam em sistemas fluviais. Entre essas variáveis merecem destaque as de força e seus efeitos sobre as comunidades aquáticas, bem como as físicas – inclinação, vazão, erosão/transporte/sedimentação e geomorfologia –, fundamentais para a explicação dos eventos que se registram nos cursos de água. Além disso, as abordagens sistêmicas acerca dos rios não podem prescindir do auxílio das principais teorias sobre a estrutura e o funcionamento dos mesmos, em acordo com as noções de corpo hídrico e bacia hidrográfica. Trata-se dos conceitos de rio contínuo, de espiral de nutrientes, de descontinuidade serial de ecossistemas lóticos, das quatro dimensões, do domínio de processos, de pulso de inundação e da imparidade com o descontínuo fluvial.

Perspectiva histórica

Os rios são conhecidos como linhas vivas entre as nações e faixas onde sua história acontece. Sabe-se há muito que rios e suas margens são precariamente balanceados, com ecossistemas interativos, facilmente perturbados pelo homem.

Sistemas de rios têm sido dramaticamente alterados em suas características em todo o mundo. Essas alterações são provocadas diretamente pela construção de represas, reservatórios, retificação e canalização de cursos. Indiretamente, o uso continuado – e inadequado – do solo também provoca aumento de carga através da drenagem difusa, sem contar a descarga de grandes quantidades de efluentes orgânicos e inorgânicos, nas regiões mais populosas e/ou industrializadas.

Os estudos de águas interiores começaram na segunda metade do século XIX, inspirados na grande e instigante obra de Darwin (*A Origem das Espécies*, 1859) e por ela influenciados. As investigações até então eram realizadas quase sempre em lagos (do grego *limnon*, “lago”). Para rios, o termo correspondente deveria ser Potamologia (do grego *potamon*, “rio”), nome que não se consolidou. Na opinião de Ginés & Vasquez¹, o termo mais adequado seria fluviologia, para dar aos rios uma concepção própria, alimentada por todos os ramos do conhecimento, porém com sentido sistêmico e de síntese.

Até meados do século XX, os trabalhos sobre rios tinham abordagem basicamente hidrológica, com objetivos primordialmente econômicos: obtenção de energia hidrelétrica através da construção de barragens, retificação de cursos e construção de eclusas para a navegação. A necessidade de saneamento em regiões críticas de poluição, como as dos rios Reno e Tâmsa, na Europa, no início do século XX, geraram os trabalhos pioneiros com preocupação ambiental, fundamentados na utilização de microorganismos e metodologias analíticas, tanto físico-químicas como químicas e biológicas. A abordagem ecológica, com enfoque sistêmico de rio, envolvendo múltiplos eventos físicos, químicos e biológicos que continuamente se sucedem, é conquista mais recente.

Os tradicionais estudos sobre lagos eram realizados segundo uma visão de sistemas quase fechados, com circuitos de regulação e homeostasia entre os organismos e os materiais, mediante otimização de aproveitamento da energia com baixa entropia, a partir dos conceitos clássicos de

¹ GINÉS, H. & VASQUEZ, E. Los grandes rios suramericanos. *Interciencia*, v. 15, n. 6, 1990, p. 326-327 (volume especial sobre grandes rios sul-americanos).

- ² TANSLEY, A. G. The use and Misuse of Vegetational Terms and Concepts. *Journal Ecology*, v. 16, p. 284-307, 1935.
- ³ SIOLI, H. Introdução ao Simpósio Internacional sobre grandes rios latino-americanos. *Interciencia*, v. 15, n. 6, p. 331-333, 1990. (volume especial sobre grandes rios sul-americanos)
- ⁴ HYNES, H. B. N. *The Ecology of Running Waters*. Toronto: University of Toronto Press, 1970.
- ⁵ MARGALEF, R. *Ecologia*. Barcelona: Omega, 1974. 906 p.
- MARGALEF, R. *Limnologia*. Barcelona: Omega, 1983. 1.010 p.
- ⁶ ROZSKA, J. *On the Nature of Rivers*. New York: Dr. Junk Publ., 1978. 67 p.
- ⁷ DAVIES, B. R. & WALKER, K. F. (Eds.) *The Ecology of River Systems*. New York: Dr. Junk Publ., 1986. 793 p.
- ⁸ CALOW, P. & PETTS, G. E. *The River Handbook*. Oxford: Black. Scient. Publ. v. I e v. II, 1994.
- ⁹ VANNOTE, R. L.; MINS-HALL, G. W.; CUMMINS, K. W.; SEDELL, J. R. & CUSHING, C. E. The River Continuum Concept. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, v. 37, p. 130-137, 1980.
- ¹⁰ JUNK, W. J.; BAYLEY, P. B. & SPARKS, R. E. The Flood Pulse Concept in River-Flodplain Systems. In: DODGE, D. P. (ed.) *Proceedings of the International Large River Symposium*. *Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.*, v. 106, p. 110-127, 1989.
- ¹¹ NEIFF, J. J. Ideas para la interpretación ecológica del Rio Paraná. *Interciencia*, v. 15, p. 424-441, 1990 (volume especial sobre grandes rios sul-americanos).

ecossistemas desde Tansley.² A transferência das metodologias adotadas em lagos para estudos de rios constituiu grande dificuldade aos limnólogos de então, que realizavam suas pesquisas baseados na verticalidade dos processos em sistemas confinados e de circuitos, como são esses ambientes, mas não nos efeitos da variável de fluxo longitudinal, que, ao contrário, caracteriza os sistemas fluviais.

De todo modo, vários e importantes trabalhos vieram acompanhados dos primeiros questionamentos sobre esses sistemas tão abertos. Ao perceber a grande diferença entre os dois termos, Sioli faz alusão a um comentário de Thiennemann, autor de mais de 250 trabalhos sobre lagos, com a seguinte comparação: “um lago representa um microcosmo autárquico enquanto um rio se caracteriza mais por ser um membro da paisagem à qual se acha ligado ativa e passivamente”³.

O questionamento dos cientistas sobre o que é um rio e como ele funciona, deu origem a importantes publicações, como as consagradas obras de Hynes⁴, Margalef⁵, Rzoska⁶, além das edições de Davies & Walker⁷ e de Calow & Petts⁸.

A partir de 1980, começaram a ser publicadas teorias de rios ou de rio funcional, cuja visão passou a ser sistêmica, isto é, baseada na compreensão dos processos ecológicos. Nesse sentido cabe ressaltar o trabalho pioneiro de Vannote *et al.*⁹, que lançaram o Conceito de Rio Contínuo (RCC = *River Continuum Concept*). Os vários modelos propostos depois suscitaram muitas discussões e novas teorias elaboradas a partir de trabalhos experimentais: Teoria da Espiral de Nutrientes, Teoria da Descontinuidade Serial (*Serial Discontinuity Concept*) de Ward & Stanford; Teoria das Quatro Dimensões (*Four Dimensional Concept*) de Ward; Teoria do Domínio de Processos (*Process Domain Concept*) de Montgomery; Teoria da Imparidade com o Descontínuo Fluvial (*Uniqueness within the River*) de Poole. Assim como a concepção de rio contínuo representou importante avanço para a teorização sobre rios, a obra de Junk *et al.*¹⁰, com a Teoria de Pulso de Inundação em sistemas de rios de planícies de inundação, foi significativa para a compreensão dos processos aí envolvidos.

De inestimável contribuição aos estudos e teorias de rios foi o simpósio realizado na Venezuela sobre o tema “Grandes rios sul-americanos”, em 1990, cujos resultados foram publicados na revista *Interciencia*, com destaque especial para o artigo de Neiff¹¹.

De todo modo, os estudos sobre rios têm buscado, cada vez mais, uma abordagem sistêmica dos processos que ocorrem tanto na calha¹² quanto na planície de inundação¹³ e, num contexto mais amplo, da bacia de drenagem ou bacia hidrográfica, como se pode constatar em *The Ecology of River Systems* de Davies & Walker¹⁴. A bacia hidrográfica, a rigor, é a unidade de macro escala para os estudos integrados e a compreensão daquilo que Sioli¹⁵ analogamente estabeleceu, ou seja, que a função renal é o papel primordial dos rios, no contexto ecológico de paisagem.

Essas e outras teorias tentam explicar os processos de rios, ou em rios, ao longo deles, desde os eventos que se sucedem no “espaço molhado” da calha, passando pelos eventos dos pulsos de inundação nas planícies de inundação, até a agregação das informações no “espaço terrestre” da bacia hidrográfica.

O rio funcional

Os rios podem ser vistos como artérias dos ecossistemas que compõem a sua bacia de drenagem. Consequentemente, nos tempos atuais, as decisões para a administração e o manejo de rios são dependentes das complexas interações entre os históricos processos naturais de um lado, e, de outro, os usos do solo, os efeitos da expansão industrial, do crescimento e consumo das populações humanas, da carga de materiais e das modificações no seu curso, que alteram as características do escoamento, a qualidade da água, a distribuição dos sedimentos e a vida aquática.

Para melhor entender um rio como formador da paisagem num contexto histórico e como produto de múltiplos processos atuais, é necessário descrever, sucintamente, os componentes do meio abiótico de um ecossistema fluvial: hidrologia, clima e geomorfologia.

Hidrologicamente, o rio é um sistema aberto, com um fluxo contínuo da nascente à foz,¹⁶ cujo vetor é determinante das características de cada unidade fluvial e da comunidade biótica que a constitui. A manutenção de um sistema de escoamento – o sistema rio – depende do balanço hidrológico, questão-chave para as águas superficiais. O escoamento superficial dos rios para corpos de água de ordem superior – outros rios, lagos ou oceano – quantitativamente expresso em forma de vazão, é continuamente reabastecido por massas de água de outras fontes, ou seja, de parte da taxa de evaporação vinda do mar ou de outras bacias hidrográficas, seguido da precipitação na bacia de drenagem e,

¹² VANNOTE, R. L. *et. al.* Op. cit.

¹³ JUNK, W. J. *et. al.* Op. cit.

¹⁴ DAVIES, B. R. & WALKER, K. F. Op. cit.

¹⁵ SIOLI, H. Op. cit.

¹⁶ SCHÄFER, A. *Fundamentos de Ecologia e Biogeografia das Águas Continentais*. Porto Alegre: Ed. da Universidade, 1985. 532 p.

secundariamente, do fluxo basal, proveniente da água subterrânea, que inclusive pode ser oriundo da drenagem de outras bacias hidrográficas. A precipitação provoca uma resposta com aumento da vazão e conduz à recarga da água subterrânea, por infiltração. O escoamento superficial, de parte da precipitação, determina a resposta rápida das cheias dos rios; a infiltração e a recarga da água subterrânea, de outra parte da precipitação, determina a resposta mais lenta, e com algum atraso, do fluxo basal. Este assegura a continuidade da vazão de um rio, mesmo nos períodos de estiagem. Longas estiagens lentamente provocam a diminuição do fluxo basal – por abaixamento do nível do aquífero – e gradualmente os rios vão secando.

¹⁷ NEIFF, J. J. *Op. cit.*

Neiff faz interessantes considerações teóricas para a interpretação ecológica do rio Paraná.¹⁷ Segundo ele, os rios se comportam como sistemas em permanente desequilíbrio, em que a variabilidade temporal é uma complexa função dependente tanto das entradas e saídas de energia e materiais em distintos sítios da bacia hidrográfica, quanto das oportunidades combinatórias das populações que aí se localizam, para ajustar sua distribuição e abundância.

Facilmente se pode depreender que um rio é um sistema pulsátil, regulado pelo regime hidrológico da sua bacia hidrográfica. Todo rio, portanto, possui seu próprio regime, mesmo não considerando outros fatores abióticos que nele atuam. Compare-se, por exemplo, o rio Amazonas com o rio Nilo; cada um deles apresenta o regime de vazão e pulso de cheias e vazantes de acordo com a região climática do planeta em que se encontram. Importante é ver onde e quando podem ser aplicadas as teorias sobre rios para cada tipo de rio.

¹⁸ SCHÄFER, A. *Op. cit.*

O clima é o condicionante básico da tipologia de cada rio, sobretudo da variável precipitação, que define as condições hidrológicas e ecológicas. De acordo com Schäfer¹⁸ há quatro tipos básicos, conforme a distribuição da umidade: a) *dirreico*, com nascente e foz em zonas úmidas e curso médio em zona árida (rio São Francisco, Brasil); b) *endorreico*, com nascente em zona úmida e foz em zona árida (rio Nilo, África); c) *arreico*, todo ele localizado em zona árida (alguns rios africanos e do nordeste brasileiro, frequentemente temporários e com maior salinidade em suas águas); d) *eurreico*, localizados em zonas úmidas em toda sua extensão (rios amazônicos e do sul do Brasil). As zonas climáticas são responsáveis pelo regime das chuvas e, consequentemente, pelas características da descarga dos rios ao longo do tempo, determinando a sua sazonalidade.

Quanto aos rios do tipo *eurreico*, em particular, como é o caso da maioria dos rios brasileiros, os mesmos apresentam algumas características comuns: vazão sem intermitência e com picos nas cheias; foz localizada em área fixa; quando desaguam em lagos tendem a formar deltas interiores, como o delta do rio Jacuí (Rio Grande do Sul); não apresentam períodos de intermitência e suas águas não se salinizam; o escoamento ocorre através da calha do rio, mas nos trechos inferiores há tendência à formação de meandros e escoamento através de planície de inundação (rio Amazonas, baixo rio Paraná, rio Paraguai e até mesmo o curso baixo do rio Jacuí).

Geomorfologicamente, um rio é visto, de um lado, como uma etapa ou elo do ciclo hidrológico, um *locus* de erosão, transporte e deposição de material dissolvido, de material suspenso e de materiais geológicos ativamente carregados, e, de outro, como um sistema físico completamente aberto, em equilíbrio hidrodinâmico, com energia distribuída, atuando ativamente na superfície das áreas terrestres.¹⁹ Da geomorfologia depende diretamente a dinâmica do rio ou o efeito da força da água, modificando o leito por erosão ou acumulação. A configuração do leito, pela formação de cachoeiras, remansos, corredeiras, estrangulamentos, depende da geologia. Localiza-se no continente sul-americano o maior derrame basáltico do planeta, por onde drenam, especialmente, as bacias hidrográficas dos rios Paraná, Iguaçu (que acaba drenando ao rio Paraná), Uruguai e a maioria dos formadores do lago Guaíba (Rio Grande do Sul). Como a Formação Serra Geral mostra uma série de eventos do derrame basáltico – por vezes intercalados por depósitos de arenitos do Botucatu –, a conformação da paisagem é representada pelas mesmas sequências dos derrames basálticos, com diferentes estágios de erosão da superfície da crosta. O leito dos rios dessa extensa região apresenta, então, uma sequência de ambientes da paisagem do tipo cachoeiras, cascatas, remansos, estrangulamentos, corredeiras, espriados etc.

A implantação de grande número de barragens para geração hidrelétrica na região sul e sudeste do Brasil, bem como entre a Argentina e o Uruguai e entre o Brasil e o Paraguai, se deve às condições favoráveis que o relevo dessa formação geológica oferece, além das condições climáticas que conformam rios do tipo *eurreico*. Entende-se como condição favorável do relevo, a alta energia potencial oferecida para uma pequena área represada. É o que constitui a

¹⁹ CURRY, R. R. Rivers – A Geomorphic and Chemical Overview. In: OGLESBY, R. T.; CARLSON, C. A. & MCCANN, J. A. (Eds.) *River Ecology and Man*. New York: Academic Press, 1972. p. 9-31. (Proceedings of International Symposium on River Ecology and Impact of Man).

razão entre a energia gerada por uma usina e a área represada (inundada) que, quanto menor for, mais se justifica a implantação de um empreendimento.

A conjugação da geomorfologia e do clima com a hidrodinâmica dos rios merece algumas considerações. O escoamento superficial da água é uma contínua transformação de energia potencial em energia cinética. O represamento, por sua vez, é o “confinamento” da energia potencial em um ponto (perda de fluxo), para ser transformado em energia cinética com geração de eletricidade através das turbinas. Esta energia potencial – função da velocidade e da vazão da água – é parcialmente dissipada, ponto a ponto, pelo atrito interno junto ao substrato do fundo e das margens. Tais propriedades, num trabalho contínuo ao longo de milhões de anos, estabelecem a configuração do leito dos rios e, principalmente, do modelado da paisagem, dentro de cada bacia hidrográfica.

Pela aceleração da gravidade, em cada ponto de um rio, a velocidade de escoamento deveria ser maior do que efetivamente é. A velocidade se aproxima mais do valor teórico, ou máximo possível, que é de 4,5 metros/segundo na distância de 1 metro, por ocasião das enchentes. O consumo da energia provoca mudanças contínuas no leito, que apresenta distribuição diferenciada desde as nascentes até a foz.

Rios sem modificações provocadas pela ação humana tendem a mostrar um gradiente de velocidade maior próximo à nascente, diminuindo em direção à foz. Quanto mais baixa a vazão (durante a estiagem), tanto mais próximas das cabeceiras observam-se as maiores velocidades; quanto mais aumenta a vazão (durante as enchentes) mais a velocidade se desloca em direção à foz. Se o aumento da velocidade se desloca em direção à foz – acompanhado do aumento da vazão – ocorre aumento exponencial da energia a ser dissipada. Na prática, resultam consequências que se fazem sentir em toda extensão do leito do rio ou de sua planície de inundação, como segue.

1. Aumento efetivo de transporte de materiais suspensos na coluna da água a maiores distâncias em direção à foz.
2. Deposição desses materiais suspensos, inicialmente os de maior granulometria e gradativamente os de menor granulometria, na planície, à medida que diminui a velocidade de fluxo.
3. Construção de uma planície aluvial, sempre ao longo do tempo, toda vez que a mesma sofre inundação.

4. Assoreamento do leito, seguido de construção de novo leito na planície de inundação e abandono do antigo, constituindo a clássica configuração de meandros.
5. Formação de deltas quando da confluência em ambientes de ordem superior – deltas interiores em lagos e deltas costeiros no mar.
6. Erosão nas margens côncavas, deposição nas margens convexas do rio nos trechos intermediários do curso, fenômeno observado durante a diminuição da vazão.
7. Arraste por rolamento de material rochoso do leito.
8. Abrasão de material de fundo, moldando as rochas desprendidas e criando as formas arredondadas dos cascalhos.

O aumento da velocidade da água tem maior efeito sobre a erosão e o transporte de materiais do que o efeito do aumento do volume da água. Desse modo, o principal fator que determina a energia de transporte é a declividade do leito, geradora do aumento da velocidade. Entende-se porque, numa grande bacia hidrográfica formada por vários rios de ordem inferior, cada um deles apresenta diferente granulometria do material de fundo que se deposita ao longo de seu curso. Tomando-se como exemplo a bacia hidrográfica formadora do lago Guaíba, os rios Jacuí, Caí e Sinos apresentam razoável extensão de leito arenoso – inclusive com extração de areia para a construção civil – enquanto o rio Taquari caracteriza-se por um leito formado por cascalho em toda a sua extensão.

A dinâmica de um rio – produto da geomorfologia e do clima – gera depósitos que, ao longo da história tendem a se repetir, numa constante busca de equilíbrio hidrodinâmico, nunca alcançado, em torno dos quais o homem se instala e continuamente explora os recursos daí advindos.

A organização interna de um rio

Uma maneira de entender um rio é considerá-lo como um sistema de fluxo extremamente aberto, contínuo e em permanente busca de equilíbrio dinâmico. Segundo Sioli,²⁰ com respeito à função renal de um rio no contexto da paisagem, uma visão simplista de sua organização interna é a de que, ao longo de seu transcurso, ele *recebe, transforma e entrega*. Recebe tudo o que é drenado na sua bacia hidrográfica, seja de forma localizada como de um efluente, seja de forma difusa como de qualquer escoamento superficial do solo. Fisicamente, transforma os materiais em sus-

²⁰ SIOLI, H. *Op. cit.*

pensão: por dissolução, os que forem solúveis – solvente universal que é a água –, por abrasão, os particulados insolúveis – através do atrito e das diferentes velocidades impostas aos materiais. Quimicamente, transforma os minerais, ioniza-os em cátions e ânions, forma uma solução eletrolítica, disponibiliza nutrientes; oxida moléculas pela presença de gases. Biologicamente, medeia processos oxidadores das atividades bacterianas, carregando-as e às suas enzimas, ou mesmo possibilitando a sua fixação ao substrato. Transfere, trecho a trecho, o que recebeu a montante e transformou, bem como o que manteve inalterado para, a jusante, oportunizar a continuidade das transformações. Essa é a natureza dos rios.

Uma carga orgânica de esgoto doméstico ou industrial de composição específica para cada tipo de atividade impõe a um rio uma “nova atribuição” de receber, transformar e transferir. A natureza de cada rio, ou mais precisamente, de cada trecho do rio, irá determinar a capacidade de realizar as transformações possíveis, até um certo limite. É o que se denomina *capacidade de autodepuração* de um rio. Entretanto, o neologismo que conviria a tal condição, poderia ser “poluibilidade” ou capacidade de suportar uma determinada carga sem perder suas características originais essenciais.

Para melhor entender um rio, no qual múltiplos processos se encadeiam simultaneamente, é necessária uma caracterização dos fluxos longitudinais, laterais e verticais. O rio é um gradiente longitudinal ou uma sequência de zonas interligadas, descrito por alguns autores como *zonação de rio*,²¹ de maneira até muito compartimentada, como a de considerar alguns grandes rios uma sequência de ecossistemas, como o Amazonas, por exemplo.

Algumas teorias são apresentadas a seguir, conforme uma abordagem sistêmica, que considera o rio uma unidade maior, formada por múltiplos componentes (ou elementos, na teoria de sistemas), funcionalmente organizados e dependentes, apesar da sua condição de sistema de fluxo fortemente aberto.

Petts²² sintetiza os atributos de um gradiente clássico de zonas ou trechos interligados de um rio. O curso superior ou de terras altas é caracterizado por canal estreito, baixas temperaturas, alta oxigenação da água, dominado por habitats de águas rápidas como corredeiras, cachoeiras, “tombos” e remansos. O curso inferior ou de terras baixas é dominado por setores de grandes planícies de inundação, com diversidade de formas de canais e meandros e depósi-

²¹ SCHÄFER, A. *Op. cit.*

²² PETTS, G. E. Rivers: Dynamic Components of Catchment Ecosystems. In: CALOW, P. & PETTS, G. E. (Eds.) *The Rivers Handbook*. v. II. Oxford: Blakwell Scient. Publ., 1994. p. 3-22.

tos de águas de planícies de inundação. Nos grandes rios de planícies de inundação, eventos como as cheias têm maior regularidade, as oscilações das variáveis abióticas são mais previsíveis, há maior diversidade de habitats, de fontes de alimentos e de adaptações tróficas (cadeias alimentares).

²³ PETTS, G. E. *Op. cit.*

Baseado nos materiais incorporados ao rio, na produção, transferência e estocagem, Petts²³ observa a existência de três zonas, num modelo simplificado inspirado em Schumm: (1) zona de cabeceiras de rios até quarta ordem, considerada como zona de produção ou de entrada de alimentos de fonte externa (alóctone); (2) zona de transferência, também chamada de zona de transformação e de passagem e (3) zona de estocagem, na planície de inundação (figura 1).



Figura 1: Interações terra-água entre sistemas fluviais mostrando as três zonas primárias, com os números indicando a ordem dos rios dentro da bacia hidrográfica (modificado de PETTS, G. E.²⁴)

²⁴ PETTS, G. E. *Op. cit.*

²⁵ VANNOTE, R. L. *et. al.*
Op. cit.

No início da década de 1980 foi lançado o Conceito de Rio Contínuo (*The River Continuum Concept* = RCC)²⁵. Mesmo que este trabalho tenha gerado muitas discussões, especialmente quanto à abrangência de sua aplicação para os diferentes tipos de rios, sua divulgação passou a ser importante marco para o desenvolvimento de estudos – e mesmo para o lançamento de outras teorias – com abordagem mais sistêmica. O RCC postula que um rio, desde as nascentes até a foz, apresenta um gradiente contínuo de condições físicas. Antes de mais nada é preciso ressaltar que essa

²⁶ CUMMINS, K. W. The Natural Stream Ecosystems. In: WARD, J. W. & STANFORD, J. A. (Eds.). *The Ecology of Regulated Streams*. New York: Plenum Press, 1979.

teoria teve forte influência dos postulados de Cummins²⁶, segundo os quais “comunidades em sucessiva ordem de rio são dependentes da ineficiência das ordens precedentes”.

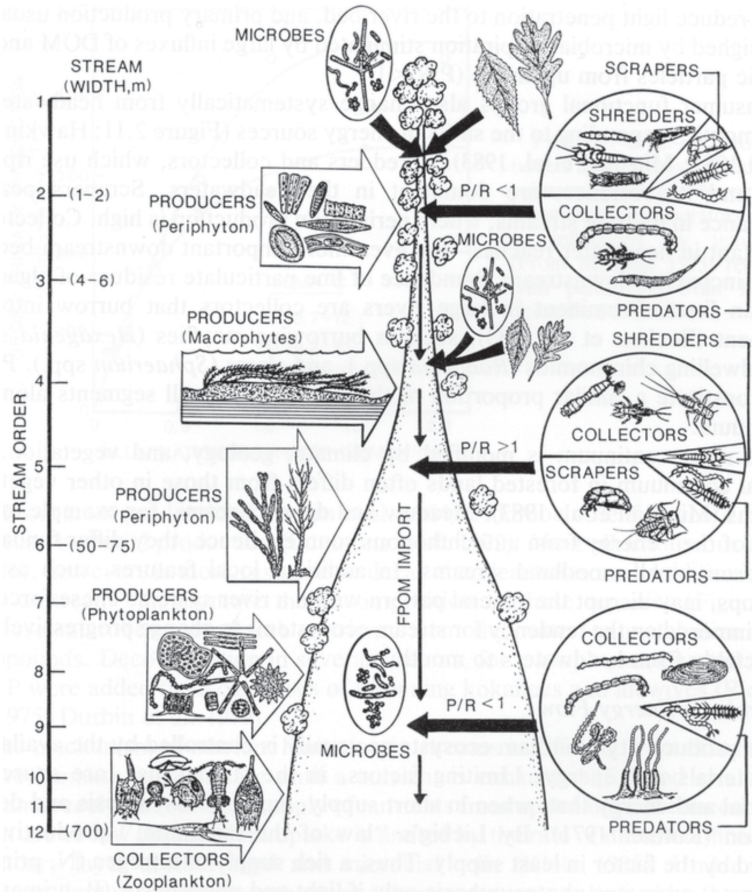
Tal gradiente propicia uma série de respostas das populações de organismos, resultando num contínuo ajustamento biótico e em efetivas taxas de remoção, transporte, utilização e estocagem de matéria orgânica ao longo da extensão do rio. Com base na teoria do equilíbrio da energia dos geomorfologistas fluviais, as características estruturais e funcionais das comunidades de organismos de rios são adaptadas à mais provável posição ou condição média do sistema físico. As características das comunidades de produtores e consumidores de um determinado rio alcançam uma estabilidade em harmonia com as condições da dinâmica física do canal de escoamento.

Nos sistemas de rios naturais, as comunidades biológicas podem ser caracterizadas como um contínuo temporal de substituição de espécies. Essa função de contínua substituição de espécies visa otimizar a utilização da entrada e passagem de energia ao longo do tempo. Assim, as comunidades biológicas desenvolveram estratégias envolvendo perdas mínimas de energia. Comunidades “rio abaixo” estão preparadas para capitalizar as ineficiências dos processamentos “rio acima”. Essa teoria busca explicar as condições de colonização, ocupação dos múltiplos espaços e sobrevivência às condições de contínuo estresse a que estão submetidos os organismos aquáticos de rios.

O conceito estabelece os grupos funcionais de organismos bentônicos – raspadores, fragmentadores, coletores e predadores – e outros grupos de organismos ao longo do eixo de um rio, a partir das suas nascentes (ordem 1). Estabelece uma razão entre produção/respiração menor do que 1 nos trechos de baixa ordem, causada pela produção alóctone; uma razão maior do que 1 nos trechos intermediários, causada pelos processos produtivos internos (como macrófitas e perifiton) e uma razão menor do que 1 entre produção e respiração no trecho final do rio (ordem superior a 6), causada pela diminuição da transparência e transporte de matéria orgânica dissolvida.

²⁷ VANNOTE, R. L. *et. al.* *Op. cit.*

O postulado de Vannote *et al.*²⁷ tem sido plenamente aplicado e aplicável a um grande número de rios, na condição de processos fluviais confinados à calha do rio, ou seja, leva em consideração os fluxos longitudinais e verticais, abstraindo as contingências de inundação de planícies, eventos típicos de grandes rios ou mesmo nos trechos finais de rios menores, com fluxos laterais.



²⁸ VANNOTE, R. L. *et. al.* *Op. cit.*

Figura 2: Modelo de Conceito de Rio Contínuo, de Vannote *et al.*²⁸, com representação dos grupos funcionais de organismos, das razões entre produção e respiração e da ordem do rio onde tais tendências se manifestam

É preciso ressaltar que a Teoria de Rio Contínuo foi desenvolvida com base em estudos feitos em rios de clima temperado e de altitude dos Estados Unidos. Rios de regiões tropicais ou mesmo subtropicais – ou de regiões com nascentes em menores altitudes – podem apresentar características diferentes. Tais condições podem levar a resultados que não se encaixam nas teorias divulgadas.

Outras teorias surgiram após a de Rio Contínuo, teorias que não representam necessariamente discordâncias ou discrepâncias entre si, mas que podem ser complementares, em função das características dos ambientes estudados.

A Teoria da Espiral de Nutrientes foi desenvolvida por Webster em 1975²⁹, na sua tese de PhD, publicada por Webster & Patten em 1979³⁰, ambas portanto anteriores à

²⁹ WEBSTER, J. R. *Analysis of potassium and calcium dynamics in stream ecosystems on three southern Apalachian watersheds of contrasting vegetation.* Ph.D. Thesis, Univ. Georgia, Athens, 1975. 232 p.

³⁰ WEBSTER, J. R. & PATTEN, B. C. Effect of watershed perturbation on stream potassium and calcium dynamics. *Ecol. Monogr.*, v. 49, 51-72, 1979.

Teoria de Rio Contínuo. A partir de experimentos realizados inicialmente com potássio e cálcio marcados e posteriormente com fósforo marcado, os autores mediram as passagens (ciclagens) e acúmulos em organismos aquáticos e na matéria orgânica particulada ao longo de certa distância de um rio (córrego) de primeira ordem. A conclusão a que chegaram é a de que os nutrientes sofrem várias passagens através dos organismos e da massa suspensa, enquanto são arrastados rio abaixo, constituindo uma espiral. Tais estudos são indicados para rios naturais de baixa ordem e sem interferências antrópicas, que permitem avaliar a eficiência das assembléias de organismos em capturar materiais escassos para seu metabolismo.

A Teoria da Descontinuidade Serial (*Serial Discontinuity Concept*) foi elaborada por Ward e Stanford em 1983³¹. Baseia-se na ruptura do contínuo do rio por um novo componente na paisagem, como a construção de uma barragem ou carga poluidora, por exemplo. Essa ruptura se manifesta tanto nas características físicas, como a temperatura, quanto na estrutura das assembléias de organismos. Considera-se, portanto, que a Teoria de Rio Contínuo se aplica em rios de águas e cursos naturais, sem alterações provocadas por ação antrópica. Seus postulados permitem avaliar os efeitos a montante e a jusante de uma descontinuidade estabelecida ao longo do eixo de um rio, cuja avaliação pode ser feita pelas alterações físicas, químicas, biológicas e pela faixa ripária.

Contemplando a realidade de muitos cursos de água, especialmente dos grandes, os conceitos de rio contínuo e outros não são plenamente aplicáveis. A “teoria do caos”, da Física, com aplicação de fractais, inspirou a elaboração de teorias sobre os “pulsos” que se manifestam na natureza, induzidos principalmente pelas condições do clima. O “pulso” é um fenômeno que se repete na natureza e também nos rios e nas bacias hidrográficas, cujos registros são as variações dos níveis/vazões ao longo do tempo. Grandes rios, incluindo os de planície, por perda de competência ou energia de transporte, depositam nas zonas de planície de deposição e de foz, o material erodido a montante, inundando a planície aluvial por eles mesmos construída. Esse fenômeno apresenta periodicidades e intensidades cujos intervalos e amplitudes têm abrangências desde o previsível até o imprevisível, de curta a longa duração, num contexto de caos pulsátil, em que os organismos estão adaptados, mas, ao mesmo tempo, são regulados como populações submetidas ao estresse dos pulsos.

³¹ WARD, J. V. & STANFORD, J. A. The serial discontinuity concept of lotic ecosystem. In: FONTAINE, T. D. & BARTELL, S. M. (Eds.). *Dynamic of lotic ecosystems*. Ann Arbor, Michigan: Ann Arbor Science, 1983.

³² JUNK, W. J. *et. al. Op. cit.*

O Conceito de Pulso de Inundação em Sistemas de Rios de Planície de Inundação (*The Flood Pulse Concept in River-Flood Plain Systems*)³² busca contemplar os regimes de sistemas de rios na Teoria de Pulso dos Físicos, oferecendo o contraponto ao Conceito de Rio Contínuo (RCC) e de outros. Em termos conceituais, planícies de inundação são áreas periodicamente inundadas por fluxo lateral de rios e/ou por precipitação direta ou de água subterrânea; o ambiente físico-químico resultante motiva a biota a respostas por adaptações morfológicas, anatômicas, fisiológicas, e produz estruturas de comunidades (assembleias) características. O conceito de pulso, obedecendo a alguns postulados básicos, pressupõe certas características descritas a seguir. A principal força responsável pela existência, produtividade e interações da grande biota nos sistemas de planícies de inundação é o “Pulso de Inundação”. O espectro das condições geomorfológicas e hidrológicas produz pulsos de inundação, com amplitude desde a imprevisibilidade à previsibilidade e de curta a longa duração. Pulsos de curta duração e geralmente no âmbito da imprevisibilidade ocorrem em rios (ou arroios, riachos, córregos) de baixa ordem ou sistemas pesadamente modificados por diques ou drenados pelo homem. Por serem breves e imprevisíveis os pulsos de rios de baixa ordem, os organismos apresentam limitadas adaptações para a direta utilização da zona de transição terrestre/aquática (*aquatic/terrestrial transition zone = ATTZ*), definida por Junk e colaboradores como zona de alternância entre ambientes terrestres e aquáticos, ou zona ora inundada ora emersa. O pulso é acoplado a um efeito de borda dinâmico, que estende uma zona litoral móvel ao longo da zona de transição aquática/terrestre. O litoral em movimento impede prolongadas estagnações e permite rápida reciclagem da matéria orgânica e dos nutrientes, que resultam em alta produtividade. A produção primária associada a essa zona de transição é maior do que na calha central de sistemas de águas permanentes. Rendimento e produção de peixes são relatados em função da entrada em planícies de inundação, além de fazer parte da rota de migração da maioria deles.

A figura 3 representa um gráfico com os principais eventos dos períodos de inundação, de vazante e da fase dita terrestre, que é uma simplificação da teoria de pulso.

É importante considerar que os organismos de sistemas de rios de inundação têm “memória” dos pulsos de inundação e, tendo sofrido adaptações ao longo da história do rio ao qual pertencem, necessitam desses pulsos para se manter estrutural e funcionalmente no ecossistema rio.

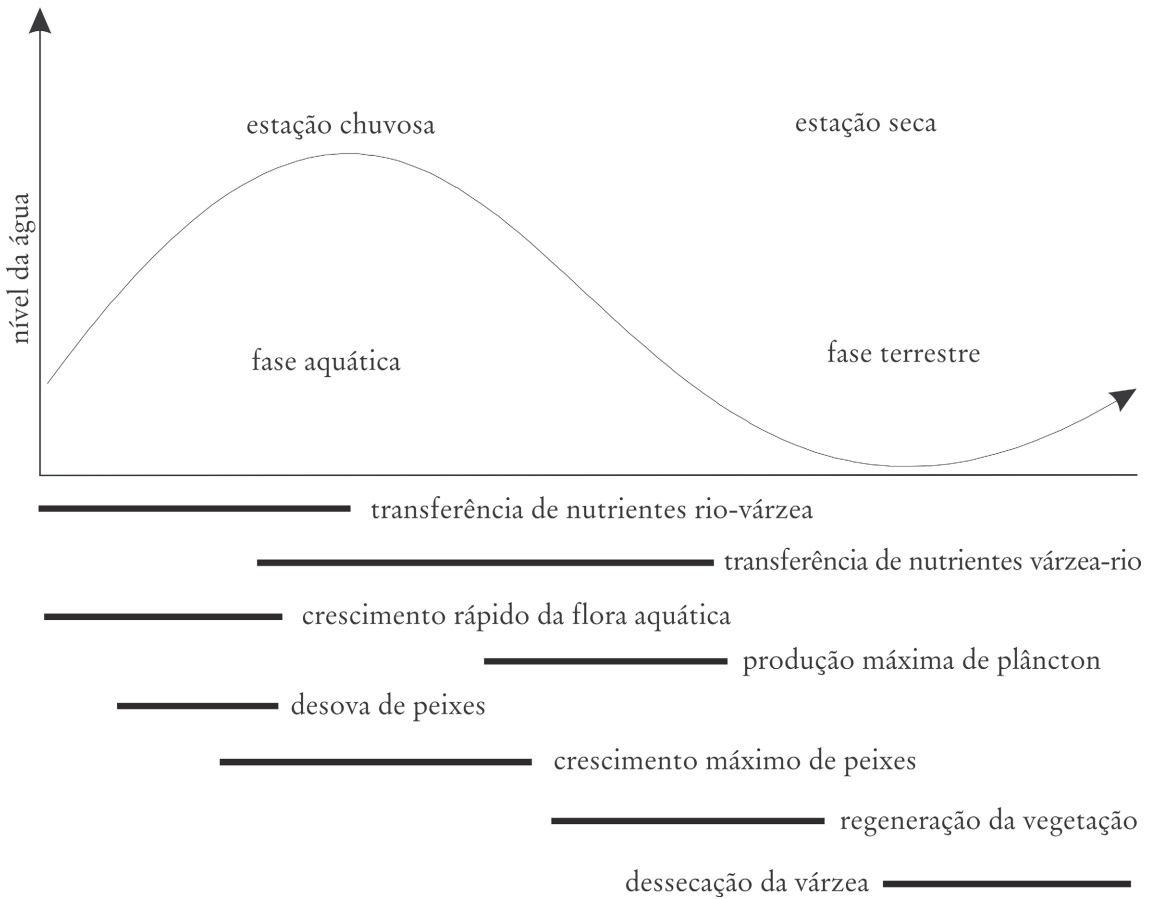


Figura 3: Influência da planície de inundação na zona de estocagem da figura 1. Cada um dos traços horizontais indica uma fase importante do pulso de inundação (modificado de PETTS, G. E.³³)

³³ PETTS, G. E. *Op. cit.*

Outra consideração, de natureza antrópica, é a tendência a medidas tecnológicas que conduzem à regularização da vazão dos rios ao longo de seu curso, para favorecer a navegação, evitar enchentes e gerar eletricidade. Se a regularização plena da vazão atende aos pleitos de diferentes usuários, representa, de outra parte, a ruptura da condição de pulso de inundação. O melhor senso para as decisões equilibradas, quanto às modificações que gradualmente se buscam introduzir nos rios, é o de manter, o quanto for possível, algumas condições espaciais de inundação, trecho a trecho, que atendam aos pulsos originais de inundação (mínimo de frequência e de amplitude) e permitam a manutenção das comunidades bióticas num mínimo estrutural e funcional em uma abordagem ecossistêmica. (Ver capítulos referentes ao tema, nesta obra).

Mesmo que, do ponto de vista geomorfológico, hidrológico, climático e da capacidade de gerar energia, rios sejam entidades muito estudadas, do ponto de vista sistêmico ou ecossistêmico há muito ainda a percorrer, especialmente no que diz respeito à importância dos ecótonos de rios (espaços de transição rio/terrestre), aos efeitos da variável de força correnteza e aos pulsos de inundação.

Pouco é conhecido sobre as interações ecótonos x organismos, ecótopos físicos (espaços da morfologia/relevo) e decisões que assegurem a sua manutenção. Que importância têm – além da paisagística – cachoeiras, saltos, corredeiras, estrangulamentos, espriados, remansos, fluxos rápidos e lentos, para a plena condição de rio e a manutenção da diversidade, no sentido pleno, de espécies, de estruturas, de processos, de ecótopos, de ecótonos? Quais os compartimentos mais importantes na produção – e em que ordem de grandeza – do material alóctone, dos organismos da coluna da água, dos organismos agregados ao substrato ou à planície de inundação? Que ambientes devem ser preservados, contra qualquer pretexto contrário, por representarem a informação incorporada pelos organismos e por serem necessários, em grau mínimo, para a sobrevivência desses organismos?

Síntese conceitual

Rio é um sistema muito aberto, fortemente pulsátil, formado por elementos bióticos e abióticos interatuantes, de fluxo energético multidirecional, mesmo que direcionado mais marcadamente no sentido do escoamento do fluxo (o fluxo como principal variável de força). O limite do sistema é a própria bacia hidrográfica, com fronteira de entradas e saídas. As modificações espaciais e temporais de materiais abióticos e bióticos se produzem geralmente como um contínuo processo. A heterogeneidade geomorfológica das sub-bacias afluentes pode limitar a continuidade geral da bacia hidrográfica. A vetorialidade dos fluxos (matéria e energia) é sensivelmente menor ao integrar na bacia hidrográfica superfícies extensas de alagamento ou inundação, que sobrepõem ao fluxo geral de escoamento as transformações que ocorrem internamente nas mesmas.³⁴

³⁴ Conceito do autor incluído no texto de J. J. Neiff, publicado em *Interciência*, v. 15, n. 6, p. 426, 1990.

Albano Schwarzbald é licenciado em História Natural, doutor em Ecologia e professor do Departamento de Ecologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

albano.schwarzbald@ufrgs.br