

REVOLUÇÕES KUHNIANAS  
NA EVOLUÇÃO DA ECOLOGIA FLUVIAL  
A (POUCA?) IMPORTÂNCIA DAS ANOMALIAS

---

*José Antonio Arenas-Ibarra*  
*Edvard Elias de Souza Filho*

É possível demonstrar a aplicabilidade do modelo de revoluções científicas proposto por Kuhn para o estudo do desenvolvimento da ecologia fluvial em geral, e a um dos seus aspectos em particular, as anomalias, não devidamente detectadas no decorrer do desenvolvimento dos paradigmas e das crises e revoluções que lhes dão origem. Daí a importância de uma análise histórica da evolução dos conceitos no campo da ecologia fluvial. Como estudo de caso, situam-se as contribuições de Argentino Bonetto e Julian Rzóska no seu respectivo paradigma. Tais contribuições, apesar de não terem sido devidamente apreciadas no seu tempo, constituíram anomalias no decorrer do aperfeiçoamento do paradigma da conectividade, fato que o modelo kuhniano permitiu evidenciar. Recomenda-se a aplicação do modelo de revoluções científicas de Kuhn como ferramenta para desenvolver uma atitude crítica no que diz respeito à geração e evolução do conhecimento em ecologia fluvial.

## Introdução

A ecologia é uma ciência fraca, que se caracteriza pela inexistência de leis gerais, por discutir conceitos ainda pouco claros e pela sua limitada capacidade preditiva. Pelo menos é isto o que pensam os seus críticos ferrenhos.<sup>1</sup> Tal situação incômoda (ninguém gosta de ser posto em xeque) motivou diversas respostas dos ecólogos.

Alguns ecólogos reconheceram parcialmente os questionamentos e tentaram incrementar a abordagem preditiva em ecologia através de modelos.<sup>2</sup> Outros questionaram a existência de leis científicas universais nesse campo, ao estilo da física clássica, elaborando propostas para fortalecer a base científica da ecologia.<sup>3</sup>

Uma outra posição sugere que as críticas provêm da tentativa de adaptação da abordagem epistemológica da física às ciências biológicas, para as quais propõe, assim como para suas ciências afins, o desenvolvimento de uma filosofia própria.<sup>4</sup> Ou seja, o reconhecimento da biologia como ciência única busca fortalecer as conceituações características da biologia e estabelecer sobre bases próprias os padrões a partir dos quais o conhecimento biológico evolui.

Em ecologia, uma ciência de cunho amplo e com particularidades que a ligam tanto às ciências da terra quanto às ciências biológicas, este discurso vem tomando forma. Recentes contribuições<sup>5</sup> atribuem o desenvolvimento da ecologia a mecanismos divergentes do espectro resultante das fecundas discussões sobre epistemologia da ciência dos anos 60-70.<sup>6</sup> Do mesmo modo, diversos autores da coletânea *Ecological paradigms lost*<sup>7</sup> rejeitam a hipótese de que a evolução dos distintos campos da ecologia analisados por eles tenha seguido um ciclo de revoluções e mudanças de paradigmas como descrito na mais conhecida obra de Kuhn<sup>8</sup>.

No entanto, é importante destacar que a ecologia, pelo seu amplo escopo, apresenta histórias particulares no desenvolvimento das suas muitas vertentes.<sup>9</sup> Algumas perspectivas sobre como o conhecimento evoluiu nessas subáreas fornecerão maiores elementos para uma adequada conceituação da natureza epistemológica da ecologia e para a avaliação da conveniência ou não da assimilação de aspectos derivados da tradicional epistemologia da ciência.

Nesse intuito, procura-se demonstrar aqui a aplicabilidade do modelo de revoluções científicas proposto por Kuhn para o estudo do desenvolvimento da ecologia fluvial em geral, e de um dos seus principais aspectos: a existência de anomalias não devidamente detectadas no decorrer do desenvol-

<sup>1</sup> SIMBERLOFF, D. S. Competition theory, hypothesis-testing, and other community ecological buzzwords. *The American Naturalist*, 122(5): 626-635, 1983.

PETERS, R. H. *A critique for ecology*. New York: Cambridge University Press, 1991. 366 p.

RIGLER, F. H. & PETERS, R. H. *Science and Limnology*. Oldendorf: Ecology Institute, Luhe, 1995. 239 p.

GUILAROV, A. M. The changing place of theory in the 20th century ecology: from universal laws to array of methodologies. *Oikos*, 92 (2):357-362, 2001.

BELOVSKY, G. E. et al. Ten suggestions to strengthen the science of ecology. (Roundtable). *Bioscience*, 54 (4):1-9, 2004.

<sup>2</sup> PETERS, R. H. The role of prediction in limnology. *Limnology and Oceanography*, 31(5):1.143-1.159, 1986.

HAKANSON, L. & PETERS, H. *Predictive limnology methods for predictive model*. Amsterdam: SBP Academic Publishing, 1995. 494 p.

GOTELLI, N. J. & GRAVES, G. R. *Null models in ecology*. Washington: Smithsonian Institution Press, 1996. 368 p.

HILBORN, R. & MANGEL, M. *The ecological detective*. Princeton: Princeton University Press, 1997. 330 p.

KALFF, J. *Limnology*. London: Prentice Hall, 2003. 592 p.

<sup>3</sup> LAWTON, J. H. Are there general laws in ecology? *Oikos*, 84:177-192, 1999.

MURRAY Jr., B. G. Universal laws and predictive theory in ecology and evolution. *Oikos*, 89(2):403-408, 2000.

LANGE, M. Ecological laws: what would they be and why would they matter? *Oikos*, 110(2):394-403, 2005.

O'HARA, R. B. The anarchist's guide to ecological theory. Or, we don't need no stinkin' laws. *Oikos*, 110(2): 390-393, 2005.

<sup>4</sup> QUINN, J. F. & DUNHAM, A. E. On hypothesis testing in ecology and evolution. *The American Naturalist*, 122(5):602-617, 1983.

WEINER, J. On the practice of ecology. *The Journal of Ecology*, 83(1):153-158, 1995.

MAYR, E. The autonomy of biology: the position of biology among the sciences. *The Quarterly Review of Biology*, 71(1):97-106, 1996.

VEPSALAINEN, K. & SPENCE, J. R. Generalization in ecology and evolutionary biology: from hypothesis to paradigm. *Biology and Philosophy*, 15:211-238, 2000.

MAYR, E. *What Makes Biology Unique?: Considerations on the Autonomy of a Scientific Discipline*. New York: Cambridge University Press, 2004. 266 p.

SIMBERLOFF, D. S. Community ecology: is it time to move on? *The American Naturalist*, 163(6):787-799, 2004.

PELICICE, F. M. *Henry A. Gleason: rumo a uma filosofia para a ecologia*. Exame Geral de qualificação (Doutorado), Programa de Pós-graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais. Universidade Estadual de Maringá. Maringá, 2006. 42 p.

<sup>5</sup> PAINE, R. T. Advances in Ecological Understanding: By Kuhnian Revolution or Conceptual Evolution? *Ecology*, 83(6):1.553-1.559, 2002.

NÚÑEZ, P. G. & NÚÑEZ M. A. The importance of controversies in the epistemic progress of ecology. *Inter-ciência*, 32(12):804-811, 2007.

<sup>6</sup> PLATT, J. R. Strong inference. *Science*, 46(3642):347-353, 1964.

LAKATOS, I. O falseamento e a metodologia dos programas de pesquisa científica. In: LAKATOS, I. & MUSGRAVE, A. *A crítica e o desenvolvimento do conhecimento*. São Paulo: Cultrix, 1979. p. 109-243.

POPPER, K. *A lógica da Pesquisa Científica*. São Paulo: Cultrix, 2001. 567 p.

<sup>7</sup> CUDDINGTON, K. & BEISNER, B. Kuhnian paradigm lost: embracing the pluralism of ecological theory. In: BEISNER, B. & CUDDINGTON, K. *Eco-*

vimento dos paradigmas e das crises que dão origem a eles. Assim, examinaremos o caso de dois pesquisadores cujas ideias tiveram pouca consideração para o avanço do paradigma da conectividade: Argentino Bonetto e Julian Rzóska.

## O modelo de ciência historicamente orientada de Kuhn

Segundo Thomas Kuhn, a ciência avança por meio de rupturas radicais e periódicas dos conceitos-chave (*paradigmas*) e não por meio do acúmulo de conhecimento e tentativa e erro, como foi assinalado por Popper. Neste sentido, um paradigma seria uma realização científica universalmente reconhecida que, durante algum tempo, fornece problemas e soluções modelares para uma comunidade de praticantes de uma ciência. No momento de sua formulação, o paradigma é limitado e pouco preciso nas respostas aos problemas que aborda, mas oferece mais alternativas de solução aos problemas que os pesquisadores mais influentes do campo conceituam como fundamentais. O paradigma dita que tipos de experimentos devem ser feitos, que dados coletar, como a coleta deve ser realizada e como analisar os dados obtidos.

Uma vez estabelecido o paradigma, começa o período denominado *ciência normal*, que se caracteriza pelo esforço de comprovação da validade deste, pelo seu refinamento e não pelo esforço de testá-lo. O paradigma se enraíza na comunidade científica por meio de atividades complementares, como o treinamento dos futuros pesquisadores, a profusão de livros-texto, revistas e sociedades científicas que reconhecem sua concepção da natureza como legítima.

A *ciência normal* frequentemente suprime novidades fundamentais porque estas subvertem seus compromissos básicos, mas usualmente o paradigma defronta-se com dados contraditórios que não podem ser explicados pelo arcabouço teórico. Tais dificuldades ou problemas que, por vezes, o paradigma não consegue resolver, são as chamadas *anomalias*. Até que o cientista tenha aprendido a ver a natureza de um modo diferente, o novo fato *anômalo* não será considerado completamente científico. Somente com o reconhecimento de que, de alguma maneira, a natureza violou as expectativas paradigmáticas que governam a ciência normal, a anomalia é “oficialmente” instaurada. O primeiro esforço de um cientista face a uma anomalia é dar-lhe estrutura, aplicando ainda com mais força as regras da ciência normal, tentando ajustar a teoria de forma que o anômalo converta-se em esperado. Nesse processo, são elaboradas

*logical Paradigms Lost: Routes Of Theory Change.* San Diego: Elsevier Academic Press, 2005. p. 419-428.

- <sup>8</sup> KUHN, T. S. *A estrutura das revoluções científicas.* São Paulo: Perspectiva, 2000. 257 p.
- <sup>9</sup> GRAHAM, M. H. & DAYTON, P. K. On the Evolution of Ecological Ideas: Paradigms and Scientific Progress. *Ecology*, 83 (6): 1.481-1.489, 2002.
- <sup>10</sup> ARENAS-IBARRA, J. A. BLETTLER, M. C. M. & ESPÍNOLA, L. A. Limnologia fluvial na América do Sul: um comentário sobre alguns de seus pioneiros e suas contribuições. In: PETRY, A. C.; PELICICE, F. & BELLINI, L. M. *História da ecologia e alguns dos seus heróis.* Maringá: EDUEM, 2010. p. 211-260. PETRY, A. C. & PELICICE, F. *História da ecologia e alguns dos seus heróis.* Op. cit.
- BRIGGS, J. C. & HUMPHRIES, C. J. Early works. In: LOMOLINO, M. V.; SAX, D. F. & BROWN, J. H. *Foundations of Biogeography: Classic Papers with Commentaries.* Chicago: University of Chicago Press, 2004. p. 5-14.
- <sup>11</sup> FRIČ, A. Die Wirbeltiere Böhmen. *Praga Archiv Naturwische Landesderchforschung*, 2:1-152, 1872. BORNE, V. D. M. Wie kann man unsere gewässer nach den in ihnen vorkomenden Arten klassifizieren? *Cirk. Dt. Ver.*, 4, 1877. NOWICKI, M. *Fishes of river systems of Wisla, Styr, Dniestr and Prut in Galicia.* Kraków, Wydż, Krajowy, Poland, 1889. 54 p.
- <sup>12</sup> STEINMANN, P. Die tierwelt der Gerbirgsbäche. Eine faunistisch-biologische studie. *Annales de Biologie Lacustre*, 2:30-150, 1907. ANTIPA, G. P. Fischerei und Flussregüierung. *Allgem. Fischerei Zeitung*, 16-17:1-5, 1911. CARPENTER, K. E. *Life in inland water with Especial Reference to Animals.* London: Sidgwick & Jackson, 1928. 267 p.

ideias que cobrem parte da realidade que o paradigma não explica. Algumas que lhe são próximas podem fazer com que, devidamente modificado ou complementado, o paradigma mantenha sua vigência. Contudo, à medida que vão surgindo mais e mais anomalias, instala-se a *crise*, período de incerteza mas de grande fecundidade intelectual. Uma parte dos pesquisadores da disciplina tenta rearticular a teoria e prática do paradigma à luz dos dados anômalos não resolvidos, enquanto outros procuram um marco alternativo que garanta horizontes promissores para as futuras pesquisas.

Quando as pesquisas extraordinárias são bem sucedidas, conduzem à profissão de um novo conjunto de compromissos, uma nova base para a prática da ciência. Esses episódios extraordinários são as *revoluções científicas*, que motivam o abandono do antigo paradigma e dão lugar a uma nova geração de cientistas normais (figura 1).

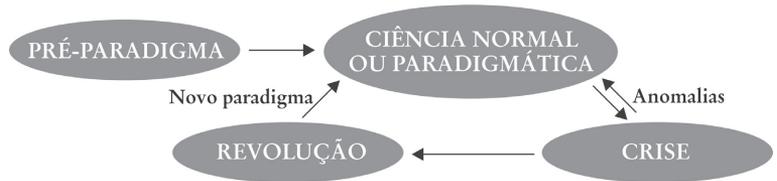


Figura 1: O modelo de ciência historicamente orientada de Kuhn

## A estrutura das revoluções científicas na ecologia fluvial

Uma ciência deve definir seu campo de estudo antes de entrar no ciclo de paradigmas e revoluções. Kuhn chamou este período de etapa pré-paradigmática. Trata-se de um período de grande confusão no qual os primeiros cientistas da disciplina não estão sujeitos aos guias e limites da tradição e são influenciados por várias disciplinas adjacentes. As observações relevantes são simples e expressas em linguagem acessível desde que as contribuições não possam assumir uma base intelectual comum.

Na ecologia fluvial, a etapa pré-paradigmática está ligada aos conhecimentos desenvolvidos pelos primeiros cientistas naturais modernos (séculos XVII e XVIII), que eram principalmente treinados em taxonomia e sistemática, e tinham seu campo de ação mais ligado à história natural e à biogeografia. Nessa perspectiva, os corpos de água doce eram vistos mais como particularidades de uma determinada zona geográfica e sua biota inventariada principalmente com o intuito de se encaixar nas grandes classificações das zonas fito-zoogeográficas do mundo<sup>10</sup> (figura 2).

THIENEMANN, A. Der bergbach des Sauerlandes. *Internationale Revue der Gesamten Hydrobiologie und Hydrographie*, Suppl 4:1-125, 1912.

KLEERÉKOPER, H. *Introdução ao estudo da limnologia*. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, Serviço de Informação Agrícola, 1944. 329 p.

<sup>13</sup> HUET, M. Aperçu des relations entre la pente et les populations piscicoles des eaux courantes. *Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie*, 11:333-351, 1949.

HUET, M. Profiles and biology of western European streams as related to fish management. *Transactions of American Fish Society*, 88(3): 155-163, 1959.

<sup>14</sup> HYNES, H. B. N. *The ecology of running waters*. Ontario: University of Toronto Press, 1970. 555 p.

COPP, G. H. The habitat diversity and fish reproductive function of floodplain ecosystems. *Environmental Biology of Fishes*, 26:1-27, 1989.

MIRANDA, L. E. & RABORN, E. W. From zonation to connectivity: fluvial ecology paradigms of the 20th century. *Polonian Archive of Hydrobiology*, 47(1): 5-19, 2000.

<sup>15</sup> LEOPOLD, L. B.; WOLMAN, M. G. & MILLER, J. P. *Fluvial Processes in Geomorphology*. San Francisco: W. H. Freeman and Co., 1964. 522 p.

<sup>16</sup> ILLIES, J. The invertebrate fauna of the Huallada Peruvian tributary of the Amazon River, from the sources down to Tingo Maria. *Verh. Int. Verein. Theor. Angew. Limnol.*, 15:1.077-1.083, 1964.

ILLIES, J. & BOTOSANEANU, L. Problèmes et méthodes de la classification et de la zonation écologique des eaux courantes. considérées surtout du point de vue faunistique. *Mitteilungen der Internationale Vereinigung Theoretische und Angewandte Limnologie*, 12:1-57, 1963.

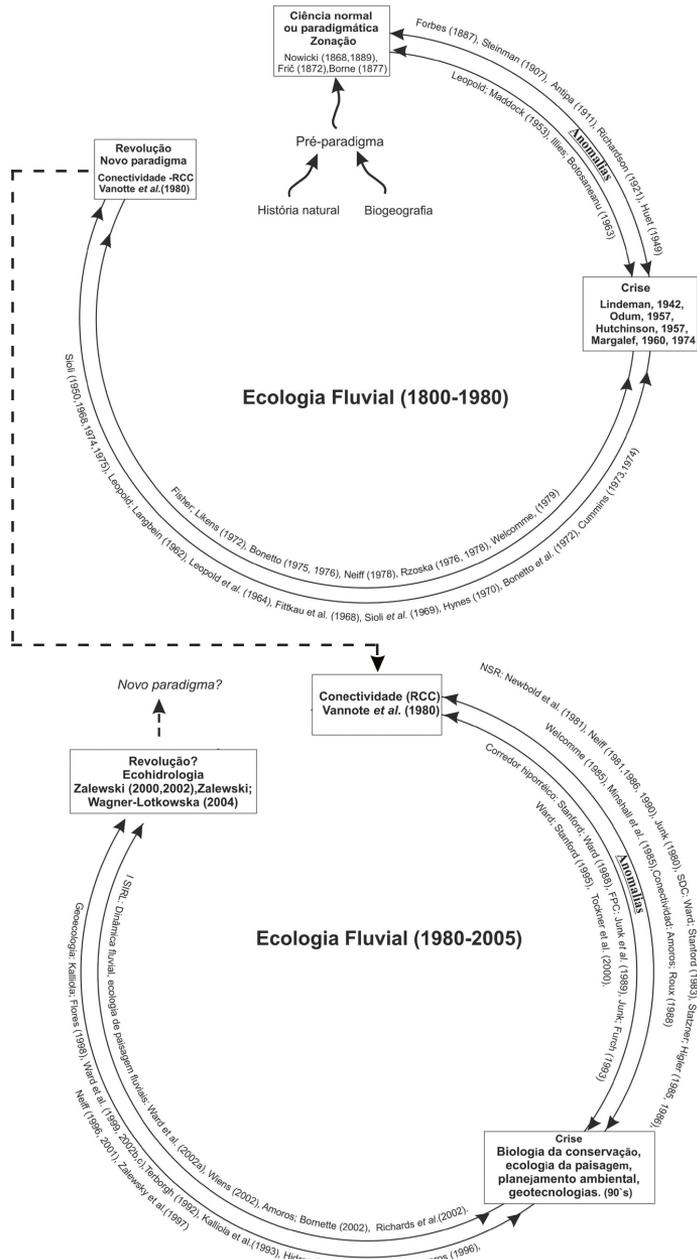


Figura 2: A evolução da Ecologia Fluvial (modificado de Arenas-Ibarra, J. et al. Op. cit., 2010)

Com base nessa abordagem, os primeiros cientistas de rios tentaram partilhar o sistema fluvial em zonas homogêneas de acordo as espécies dominantes de peixes como truta (*Salmo truta*), timalo (*Thymallus thymallus*) e barbilho (*Barbus barbus*).<sup>11</sup> Estudos posteriores focalizaram a iden-

<sup>17</sup> LINDEMAN, R. L. The trophic dynamic aspects of ecology. *Ecology*, 23:399-418, 1942.

ODUM, H. T. Trophic Structure and Productivity of Silver Springs, Florida. *Ecological Monographs*, 27(1): 55-112, 1957.

MARGALEF, R. Ideas for a synthetic approach to the ecology of running waters. *Internationale Revue der Gesamten Hydrobiologie*, 45: 133-153, 1960.

<sup>18</sup> GOLLEY, F. B. *A History of the Ecosystem Concept in Ecology. More than the Sum of the Parts*. London: Yale University Press, 1996. 272 p.

<sup>19</sup> ODUM, E. P. *Ecology*. Holt: Rinehart and Winston Publishers, 1963. 152 p.

ODUM, E. P. The Strategy of Ecosystem Development. An understanding of ecological succession provides a basis for resolving man's conflict with nature. *Science*, 164: 262-270, 1969.

<sup>20</sup> BORMANN, F. H. & LIKENS, G. E. Nutrient cycling. *Science*, 155(3.761): 424-429, 1967.

FITTKAU, E. J.; IRMLER, U.; JUNK, W. J.; REISS, F. & SCHMIDT, G. W. Productivity, biomass and population dynamics in Amazonian water bodies. In: GOLLEY, F. B. & MEDINA, E. (Ed.). *Tropical Ecosystems: Trends in terrestrial and aquatic research*. New York: Springer Verlag, 1975. p. 289-311. (Ecological Studies Analysis and Synthesis, n. 11).

<sup>21</sup> FISHER, S. G. & LIKENS, G. E. Stream ecosystem: organic energy budget. *BioScience*, 22(1):33-35, 1972.

FISHER, S. G. & LIKENS, G. E. Energy flow in Bear Brook, New Hampshire: an integrative approach to stream ecosystem metabolism. *Ecol. Monogr.*, 43(2): 421-439, 1973.

<sup>22</sup> CUMMINS, K. W. Trophic relations of aquatic insects. *Annual Review of Entomology*, 18:183-206, 1973.

tificação das condições abióticas associadas a esta zonação incorporando outros grupos faunísticos.<sup>12</sup>

A divisão dos diversos trechos de um rio em entidades discretas em função da biota consolidou-se como paradigma (paradigma da zonação) principalmente pelos artigos de Huet<sup>13</sup>, que caracterizou o gradiente longitudinal do rio pelo aumento gradual da temperatura, largura e profundidade, redução da correnteza e diminuição das frações granulométricas do material do leito. Embora útil para caracterizar a distribuição da ictiofauna e bentos de alguns sistemas lóticos europeus, a universalidade dessa proposta era questionável, pois os grupos de espécies que caracterizavam um sistema lótico raramente eram encontrados em outro.<sup>14</sup>

De outra parte, as mudanças das condições abióticas raramente eram graduais longitudinalmente e, no entanto, mudanças contínuas na geometria hidráulica ao longo do curso são observadas com a conseqüente alteração do espectro das características limnológicas.<sup>15</sup> Numa tentativa de tornar o paradigma mais universal e redefinir as zonas como entidades ecológicas reais, Illies e Illies & Botosaneanu restabeleceram as zonas como *rithron* (descarga), *potamon* (dejeção) e *crenon* (captação), ampliando o espectro de entidades biológicas a elas associadas.<sup>16</sup>

A zonação entrou em crise ao ser contrastada com diversos postulados advindos da teoria ecológica (ecologia de comunidades e ecossistemas) que priorizavam a avaliação dos fluxos de matéria e energia em gradientes determinados, bem como o ajuste das comunidades ao processo sucessório ao longo destes<sup>17</sup>. Tal abordagem apresentava-se promissora, pois se baseava nas características funcionais das diversas zonas do *ecossistema fluvial* para atingir a percepção holística do conceito de ecossistema proposto por Tansley em 1935, de aceitação cada vez maior no mundo do pós-guerra<sup>18</sup>.

A posterior publicação do livro *Ecology* e do artigo *The Strategy of Ecosystem Development* fincaram ainda mais essa tendência nas linhas teóricas dos ecólogos fluviais.<sup>19</sup> Cada vez mais ecólogos fluviais passaram a se interessar pela descrição dos sistemas lóticos com base em sua produtividade primária/metabolismo da comunidade<sup>20</sup>, fluxos de matéria e energia e estocagem de matéria orgânica<sup>21</sup>, dinâmica trófica<sup>22</sup>, papel dos detritos alóctones<sup>23</sup> e produção secundária<sup>24</sup>. Especialmente importantes foram as pesquisas desenvolvidas na floresta experimental de Hubbard Brook<sup>25</sup> que demonstravam que alterações na entrada e saída dos fluxos de matéria e energia em um trecho determinado afetavam as comunidades e processos dos ambientes situados

- CUMMINS, K. W. Structure and function of stream ecosystems. *Bioscience*, 24: 631-641, 1974.
- <sup>23</sup> MINSHALL, G. W. Role of allochthonous detritus in the trophic structure of a woodland stream. *Ecology*, 48:139-149, 1967.
- FITTKAU, E. J. Remarks on limnology of central Amazon rain forest streams. *Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie*, 15:1092-1096, 1964.
- <sup>24</sup> KLINGE, H.; RODRIGUES, W. A.; BRÜNIG, E. & FITTKAU, E. J. Biomass And Structure in a Central Amazonian Rain Forest. In: GOLLEY, F. B. & MEDINA, E. (Ed.). *Tropical Ecosystems*. *Op. cit.* p. 115-122.
- <sup>25</sup> BORMANN, F. H. & LIKENS, G. E. Nutrient cycling. *Op. cit.*
- BORMANN, F. H. & LIKENS, G. E. The nutrient cycles of an ecosystem. *Sci. Amer.*, 223(4):92-101, 1970.
- LIKENS, G. E. & BORMANN, F. H. An experimental approach to New England landscapes In: HASSLER, A. D. (Ed.). *Coupling of land and water systems*. New York: Springer-Verlag, 1975. p. 7-30.
- <sup>26</sup> LIKENS, G. E. *et al.* Effects of forest cutting and herbicide treatment on nutrient budgets in the Hubbard Brook watershed-ecosystem. *Ecol. Monogr.*, 40(1):23-47, 1970.
- <sup>27</sup> LIKENS, G. E. & BORMANN, F. H. Linkages between terrestrial and aquatic ecosystems. *BioScience*, 24(8): 447-456, 1974.
- <sup>28</sup> FISHER, S. G. & LIKENS, G. E. Stream ecosystem... *Op. cit.*
- FISHER, S. G. & LIKENS, G. E. Energy flow... *Op. cit.*
- <sup>29</sup> HYNES, H. B. N. *The ecology of running waters...* *Op. cit.*
- HASSLER, A. D. (Ed.). *Coupling of land and water systems*, New York: Springer-Verlag, 1975. 309 p.
- rio abaixo, ou seja, os ambientes estavam *conectados* pelos processos ao longo da bacia hidrográfica<sup>26</sup>. Essas pesquisas deixavam claras a influência dos detritos provenientes da vegetação ripária para a fisiologia fluvial<sup>27</sup> e a ubiquidade da aplicação do conceito de ecossistema em bacias hidrográficas<sup>28</sup>. O novo modo de enxergar a natureza potâmica foi posteriormente retratado em livros que consolidaram a revolução conceitual.<sup>29</sup>
- Os estudos em produtividade biótica, fluxos de energia, transporte de nutrientes e dependência do material alóctone, acentuaram a importância dada às interações terra-água e à concepção da continuidade dos segmentos dos rios. As novas conceituações levaram Southwood<sup>30</sup> a descrever, em 1977, o habitat como um modelo em que as estruturas físicas e o ciclo hidrológico juntam-se para determinar as condições biológicas, resultando em padrões consistentes de estrutura comunitária.
- No mesmo ano surge o *conceito de espiral de nutrientes*<sup>31</sup>, que descreve o deslocamento para jusante de nutrientes orgânicos, seu uso e processamento ao longo dos rios. O comprimento da espiral seria uma função da taxa de transporte e retenção influenciada pelas características das comunidades. Levando em conta estes postulados e adaptando a teoria de equilíbrio dinâmico dos rios, Vannote *et al.*<sup>32</sup> caracterizaram o rio como um gradiente longitudinal contínuo de matéria e energia (*conceito de contínuo de rios*, RCC). O conceito considera a existência de um gradiente de condições físicas previsíveis, em função da ordem do rio, desde as nascentes até a foz. Essas forças produzem um contínuo de características hidrológicas e geomorfológicas que induzem um gradiente de condições ecológicas longitudinalmente ligadas, que organizam as comunidades biológicas estrutural e funcionalmente de acordo com os padrões de dissipação de energia cinética. Os rios são caracterizados como de pequeno (1<sup>a</sup>-3<sup>a</sup> ordem), médio (4<sup>a</sup>-5<sup>a</sup> ordem) e grande porte (6<sup>a</sup>-7<sup>a</sup> ordem).
- O artigo de Vannote *et al.*<sup>33</sup> foi decisivo para a consolidação do paradigma da conectividade porque foi a primeira descrição compreensiva e explícita dos novos conceitos, estabelecendo predições e fornecendo uma nova classe de problemas ao redor da validação do paradigma. Não foi necessário para a conectividade resolver todos os problemas da zonação; de fato, conforme Thomas Kuhn, é a promessa de resolver problemas futuros o que faz um paradigma mais atrativo.<sup>34</sup>
- Pesquisas subsequentes ao RCC seguiram as postulações de Kuhn, novos problemas foram formulados e as pre-

- GOLLEY, F. B. & MEDINA, E. (Ed.). *Tropical Ecosystems*. *Op. cit.*
- WHITTON, B. A. *River ecology*. Berkeley: University of California Press, 1975. 725 p. (Studies in Ecology, n. 2)
- BORMANN, F. H. & LIKENS, G. E. *Pattern and process in a forested ecosystem*. New York: Springer-Verlag, 1979. 253 p.
- <sup>30</sup> SOUTHWOOD, T. R. E. Habitat, the templet for ecological strategies? *The Journal of Animal Ecology*, 46(2):336-365, 1977.
- <sup>31</sup> NEWBOLD, J. D.; ELWOOD, J. W.; O'NEILL, R. V. & VAN WINKLE, W. Measuring nutrient spiraling in streams. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 38:860-863, 1981.
- <sup>32</sup> VANNOTE, R. L. *et al.* The river continuum concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 37:130-137, 1980.
- <sup>33</sup> VANNOTE, R. L. *et al.* *Op. cit.*
- <sup>34</sup> MIRANDA, L. E. & RABORN, E. W. *Op. cit.*
- <sup>35</sup> DODGE, D. (Ed.). Proceedings of the International Large River Symposium (LARS). *Canadian Special Publications of Fisheries and Aquatic Sciences*, 106, 1989. 629 p.
- <sup>36</sup> WELCOMME, R. L. Concluding remarks I: on the nature of large tropical rivers floodplains and future research. *Journal of the North American Benthological Society*, 7(4):525-526, 1988.
- <sup>37</sup> SIOLI, H. Introdução ao Simpósio Internacional sobre Grandes Rios Latino-americanos. *Interciencia*, 15(6): 331-336, 1990.
- <sup>38</sup> KUHN, T. S. *A estrutura das revoluções científicas*. *Op. cit.*
- <sup>39</sup> MINSHALL, G. W. *et al.* Interbiome Comparison of Stream Ecosystem Dynamics. *Ecological Monographs*, 53(1): 1-25, 1983.
- <sup>40</sup> CUMMINS, K. W. *et al.* Stream ecosystem theory Verh. Internat. Verein. Limnol., 22: 1.818-1.827, 1984.

dições estipuladas pelo RCC receberam maior atenção. A influência das ideias do RCC e sua aplicação na pesca foi abordada no simpósio de grandes rios em 1985<sup>35</sup>. Do mesmo modo, as novas perspectivas e o estado de desenvolvimento da ecologia de rios foram os temas principais do simpósio *Community Structure and Function in Temperate and Tropical Streams*<sup>36</sup> e do Simpósio Internacional de Grandes Rios Sul-Americanos em 1990<sup>37</sup>. De acordo com o comportamento estipulado para a ciência normal por Kuhn, lá onde as predições do paradigma falham (*anomalias*) modificações *ad hoc* são feitas. Kuhn descreveu este comportamento dos cientistas como *brincar de ir completando o quebra-cabeças*<sup>38</sup>.

Minshall *et al.*<sup>39</sup> fazem uma comparação de diversos biomas do mundo sugerindo a grande aplicabilidade do RCC na maior parte deles. Entretanto, anos depois, certos autores foram *subsannando* limitações<sup>40</sup> que enfraqueciam o conceito. As principais críticas residiam no fato de o gradiente de condições físicas e biológicas estipuladas por Vanotte *et al.*<sup>41</sup> não ser tão determinante e progressivo como se acreditava; também a ordem dos rios não representava uma descrição apurada das características do ambiente físico. Por essas razões, o RCC não poderia ser decisivo para determinar comunidades biológicas<sup>42</sup>.

O rio não parecerá mais um ecossistema contínuo, mas sim um mosaico contínuo<sup>43</sup>. Os conceitos de distúrbio, *shifting mosaics* e *patch dynamics*<sup>44</sup> e sua ligação com a ecologia da paisagem<sup>45</sup> pareciam mais apropriados para descrever a heterogeneidade de um rio, pois consideravam tanto a conectividade longitudinal quanto a lateral, e como esta fica sujeita a distúrbios<sup>46</sup>. Segundo o mesmo princípio, outros autores preferiram estudar a dimensão lateral inserida no conceito de ecótono<sup>47</sup>. Tais posições eram críticas de fundo ao RCC e ao que parece a ecologia fluvial não estava pronta para abdicar de seu paradigma pivotal nem para se afastar do conceito de ecossistema.

Assim, a maior parte da comunidade científica "fluvial" norteou sua atividade no sentido de esclarecer deficiências mais óbvias do paradigma. Por estar baseado em rios prístinos, o RCC carecia de universalidade, pois os ambientes lóticos de grande parte da Europa e da América do Norte estavam fortemente impactados. Esta limitação foi corrigida mediante o conceito de *descontinuidade serial* (SDC), que predizia o comportamento dos rios a jusante de barragens a partir dos postulados do RCC.<sup>48</sup> Por outro lado, o RCC só considerava a dimensão longitudinal, mas em sistemas de baixa vetalidade os fluxos de energia, materiais

- MINSHALL, G. W. *et al.* Developments in stream ecosystem theory. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 42:1.045-1.055, 1985.
- SEDELL, J. R.; RICHEY, J. E. & SWANSON, F. J. The river continuum concept: a basis for the expected ecosystem behavior of very large rivers? Proceedings of the International Large River Symposium (LARS), Ottawa. *Canadian Special Publications of Fisheries and Aquatic Sciences*, 106:49-55, 1989.
- <sup>41</sup> VANNOTE, R. L. *et al.* *Op. cit.*
- <sup>42</sup> STATZNER, B. & HIGLER, B. Questions and comments on the river continuum concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 42:1.038-1.044, 1985.
- STATZNER, B. & HIGLER, B. Stream hydraulic as major determinant of benthic invertebrate zonation patterns. *Freshwater Biology*, 16:127-139, 1986.
- NAIMAN, R. J.; DÉCAMPS, H. D.; PASTOR, J. & JOHNSTON, C. A. The potential importance of boundaries to fluvial ecosystems. *J. N. Am. Benthol Soc.*, 7(4): 289-306, 1988.
- <sup>43</sup> NAIMAN, R. J. *et al.* *Op. cit.*
- <sup>44</sup> BORMANN, F. H. & LIKENS, G. E. *Pattern and process in a forested... Op. cit.*
- PICKET, S. T. A. & WHITE, P. S. *The ecology of natural disturbance and patch dynamics.* San Diego: Academic Press Inc., 1985. 472 p.
- <sup>45</sup> WIENS, J.; MOSS, M. R.; TURNER, M. G. & MLADENOFF, D. *Foundation Papers in Landscape Ecology.* Columbia University Press, 2006. 668 p.
- <sup>46</sup> PRINGLE, C. M. *et al.* Patch dynamics in lotic ecosystems: the stream as a mosaic. *J. N. Am. Benthol. Soc.*, 7(4):503-524, 1988.
- RESH, V. H. *et al.* The role of disturbance in stream ecology. *J. N. Am. Benthol. Soc.*, 7(4):433-435, 1988.
- NAIMAN, R. J. *et al.* *Op. cit.*

e de organismos não são inequivocamente unidirecionais. Em tais sistemas, as distintas formas e estádios de organização das bacias desde as nascentes até a desembocadura dependem mais dos tempos de permanência da água e características do fluxo, do que da posição e ordem hierárquica do canal.<sup>49</sup>

Dessa forma, novas dimensões foram adicionadas ao conceito. A dimensão vertical foi adicionada por meio do *corredor hiporréico*<sup>50</sup> que enfatizava as trocas de matéria e energia entre o rio e os ambientes conexos por meio do lençol freático. A conectividade lateral foi adicionada por Amoros e Roux<sup>51</sup>, que adaptaram o conceito de conectividade utilizada em ecologia da paisagem para analisar as implicações ecológicas da distância e tipo de conexão entre os diversos corpos de água doce das planícies de inundação e o curso principal do rio, encontrando relação entre esta e a biomassa de peixes, plâncton e bentos.

Junk *et al.* e Neiff adaptaram o paradigma da conectividade a planícies de inundação de grandes rios tropicais, onde o fluxo de matéria e energia da calha principal à planície e vice-versa (em potamofase ou limnofase, respectivamente) é mais significativo do que o que vem da nascente do rio.<sup>52</sup> Assim, o pulso hidrossedimentológico (que viria a ser conhecido como *flood pulse concept*, FPC) seria a força que estrutura as comunidades bióticas nestes ambientes. O conceito de “pulso” (FPC) contribuía assim à generalização do paradigma.

O FPC foi rapidamente aceito porque solucionava uma das principais fraquezas do paradigma dominante que era não considerar a dimensão lateral. Assim, no lugar de testá-lo, buscou-se-lhe a universalidade. Uma série de trabalhos neste sentido foram realizados em planícies sul-americanas<sup>53</sup>, norte-americanas<sup>54</sup> e europeias<sup>55</sup>.

Ward e Stanford<sup>56</sup> modificam o SDC para adaptá-lo à dinâmica proposta para rios de planície pelo FPC. Posteriormente Tockner *et al.*<sup>57</sup> estendem o conceito de pulso a rios de planície de zonas temperadas, considerando os pulsos de degelo e a ampliação-retração de habitats<sup>58</sup> provocadas por pulsos de freático, sem a necessidade de transbordamento lateral do rio como estabelecido por Junk *et al.*<sup>59</sup> no conceito original.

Na última década, os ecólogos fluviais foram paulatinamente percebendo que os atributos bióticos não conseguem explicar por si mesmos o sistema fluvial, e que além da perspectiva brindada pela ecologia de comunidades, também é necessário abordar o rio em uma escala espacial mais ampla.<sup>60</sup> Mas, esta alteração de pensamento não tem sido gratuita.

- <sup>47</sup> NAIMAN, R. J. & DE-CAMPS, H. *The ecology and management of aquatical terrestrial ecotones*. UNESCO-Parthenon Publishing Group, New Jersey, 1990. 316 p.
- <sup>48</sup> WARD, J. W. & STANFORD, J. A. The serial discontinuity concept of lotic ecosystems. In: FONTAINE, T. D. & BARTELL, S. M. (Ed.). *Dynamics of lotic ecosystems*. Ann Arbor: Ann Arbor Science Publishers Inc., 1983. p. 29-42.
- <sup>49</sup> NEIFF, J. J. Sinopsis ecológica y estado actual del Chaco Oriental. *Ambiente Subtropical*, 1:5-35, 1986.
- BONETTO, A. A. & WAIS, I. R. The Paraná river in the framework of modern paradigms of fluvial systems. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 3: 139-172, 1990.
- SEDELL, J. R. et al. *Op. cit.*
- <sup>50</sup> STANFORD, J. A. & WARD, J. V. The hyporheic habitat of river ecosystems. *Nature*, 335:64-66, 1988.
- <sup>51</sup> AMOROS, C. & ROUX, A. L. Interactions between water bodies within the floodplain of large rivers: function and development of connectivity. In: SCHEREIBER, K. F. (Ed.). *Connectivity in landscape ecology*. Proceedings of the 2nd International Seminar of the International Association for Landscape Ecology. *Müntersche Geographische Arbeiten*, 29:125-130, 1988.
- <sup>52</sup> JUNK, W. J.; BAYLEY, P. B. & SPARKS, R. The flood pulse concept in river floodplain systems. In: DODGE, D. (Ed.). Proceedings of the International Large River Symposium (LARS), Ottawa. *Canadian Special Publications of Fisheries and Aquatic Sciences*, 106:110-127, 1989.
- NEIFF, J. J. Ideas para la interpretación ecológica del Paraná. *Interciencia*, 15(6): 424-441, 1990.
- <sup>53</sup> BONETTO, A. A. & WAIS, I. R. El concepto de "pulso de inundación" en relación a las planicies fluviales del sistema fluvial Paraná-Paraguay. *Ecosur*, 16(27):85-98, 1990.

A chamada revolução ambiental (a demanda feita pela sociedade à ciência por soluções para os conflitos ambientais) vem forçando os ecólogos a procurar padrões no âmbito de paisagem<sup>61</sup> e incluir a dimensão humana<sup>62</sup> nas quatro dimensões tradicionalmente estudadas nos rios: longitudinal, lateral, temporal e vertical<sup>63</sup>.

O contexto teórico para essa nova maneira de perceber a natureza tem sido extraído de campos recentes da ecologia, tais como a *biologia da conservação* e a *ecologia da paisagem*. Ao que parece, os conceitos debatidos no simpósio *Community Structure and Function in Temperate and Tropical Streams*<sup>64</sup> e a abordagem ecotonal em ecologia fluvial<sup>65</sup>, amadurecidos e melhorados<sup>66</sup>, começam a se consolidar, após terem sido pouco considerados na década de 80.

Paralelamente, a ecologia fluvial, além de ciência biológica tem-se caracterizado como ciência da terra. Diversas abordagens têm surgido nesse sentido. Kalliola, Puhakka & Danjoy e Kalliola & Flores utilizam a chamada *geoecologia* para descrever o funcionamento territorial e propor sob esta ótica o zoneamento ecológico da Amazônia peruana, constituída por um mosaico de planícies de inundação e bosques de terra firme.<sup>67</sup> Carling & Petts<sup>68</sup> enfatizam uma ligação maior entre a hidrogeomorfologia e a ecologia para a conservação das terras baixas holandesas. Petts em colaboração com Amoros conceitualizam o chamado *Fluvial Hydrosystem*<sup>69</sup>, unidade de estudo cuja integridade depende da interação dinâmica dos processos biológicos, hidrológicos e geomorfológicos em uma escala de bacia hidrográfica.

Um evento-chave para o que viria a ser a crise do paradigma da conectividade foi a realização na Suíça, em março de 2001, do 1º Simpósio Internacional de Paisagens Fluviais, cujos trabalhos foram publicados no volume 47 do periódico *Freshwater Biology*. Neste volume, autores como Ward et al.<sup>70</sup> defendem a realização de estudos de planícies de inundação em escala de paisagem, dando ênfase a sua diversidade de elementos e à dinâmica das formas e processos geomorfológicos como geradores da diversidade específica. Para eles, a principal função de força que regula o funcionamento das paisagens fluviais, fundamentalmente em planícies de inundação, é a *dinâmica fluvial*, que inclui, além do pulso de inundação, o espectro de processos geológicos, geomorfológicos e hidrológicos que o determinam. Os artigos deste volume foram, por muitos anos, os mais acessados do periódico.

Por outro lado, a chamada *ecohidrologia*, definida como o estudo das inter-relações funcionais entre a hidrolo-

- JUNK, W. J. & WELCOMME, R. L. Floodplains. In: PATTEN, B. C. *Wetlands and shallow continental water bodies*. v. 1. The Hague: SPB Academic Publishing, Natural and human relationships, 1990. p. 491-524.
- JUNK, W. J. & FURCH, K. A general review of tropical South American floodplain. *Wetlands Ecology and Management*, 2(4):231-238, 1993.
- JUNK, W. J. & SILVA, C. J. Neotropical floodplains: A comparison between the Pantanal of Mato Grosso and the large Amazonian river floodplains. In: TUNDISI, J. G.; BICUDO, C. E. M. & TUNDISI, T. M. *Limnology in Brazil*. Rio de Janeiro: Brazilian Academy of Sciences, Brazilian Limnological Society, 1995. p. 195-217.
- AGOSTINHO, A. A.; VAZZOLER, A. E. A. M. & THOMAZ, S. M. The high Paraná river basin: limnological and ichthyological aspects. In: TUNDISI, J. G.; BICUDO, C. E. M. & TUNDISI, T. M. (Org.). *Limnology in Brazil*. Rio de Janeiro: Brazilian Academy of Sciences/Brazilian Limnological Society, 1995. p. 59-10.
- <sup>54</sup> BAYLEY, P. B. The flood pulse advantage and the restoration of rivers floodplains system. *Regulated rivers research and management*, 6:75-86, 1991.
- BAYLEY, P. B. Understanding large river-floodplain ecosystems. *BioScience*, 45:153-158, 1995.
- SPARKS, R. E. Need for Ecosystem Management of Large Rivers and Their Floodplains *BioScience*, 45(3):168-182, 1995.
- WARD, J. V. & STANFORD, J. A. The serial discontinuity concept: extending the model to floodplain rivers. *Reg. Riv. Res. Manag.*, 10:159-168, 1995.
- <sup>55</sup> HEILER, G.; HEIN, T. & SCHIEMER, F. Hydrological connectivity and flood pulses as the central aspects for the integrity of a river-floodplain system. *Regulated Rivers Res. Manag.*, 11:351-361, 1995.

gia e a biota na escala de bacia hidrográfica<sup>71</sup>, pretende ser o novo paradigma para responder às inquietudes da sociedade no que diz respeito a serviços ecológicos prestados pelos rios. Outra abordagem, que parece transcender o campo de ação da ecoidrologia, é o que os hidrólogos chamam de *hidroecologia* – a ligação entre os conhecimentos de hidrologia, hidráulica, geomorfologia e as ciências biológicas/ecológicas – para prever a resposta da biota e de ecossistemas de água doce às variações dos fatores abióticos, através de um espectro de escalas temporais e espaciais.<sup>72</sup> Não obstante, tanto a ecoidrologia como a hidroecologia apresentam dificuldades conceituais quanto à natureza filosófica dos problemas que enfocam.<sup>73</sup> Ambas as abordagens falham em explicitar a natureza bidirecional das interações ecológico-hidrológicas, e os requerimentos para a compreensão cabal destes processos e das relações causais que os determinam.<sup>74</sup> A abrangência dos problemas que focalizam e a necessidade de considerar mecanismos que interagem em diversas escalas espaciais e temporais também são pouco enfatizadas. Talvez o principal problema esteja na falta de uma real definição da filosofia de pesquisa e da natureza interdisciplinar que preencha os vazios entre os limiares tradicionais da ecologia e da hidrologia. A falta desta filosofia se evidencia na abordagem multidisciplinar em que se fundamenta a maioria dos estudos nestes campos da ciência: pesquisas de cunho ecológico com algumas considerações hidrológicas/geomorfológicas e vice versa, sem que os parâmetros usados em uma ou outra abordagem sejam identificados como fundamentais, para responder às perguntas que o problema que se quer resolver gera, confundindo terminologias e chegando a resultados muitas vezes contrastantes.

Essa mesma indefinição e incapacidade de responder às questões sobre a natureza dos rios desde sua própria perspectiva, verificam-se em ciências relacionadas. Para os ecólogos de paisagem, a ciência que professam é a que integra todos os aspectos funcionais capazes de identificar os padrões e processos nas bacias hidrográficas.<sup>75</sup> Já para os engenheiros e planejadores ambientais, a integração desses aspectos se dá no conceito de bacia hidrográfica através de sistemas de informação geográfica.<sup>76</sup> Tal confusão e a sobreposição de campos de estudo são típicas dos períodos de mudança de paradigmas. Entretanto, a *ecoidrologia* corre com vantagem, pois conta com o apoio do Programa Hidrológico Internacional da UNESCO (IHP); nos últimos anos ampliou seu escopo e é tida como um conceito-chave para a conservação e gestão das bacias hidrográficas e das populações humanas envolvidas.

## Argentino Bonetto e o desenvolvimento da ecologia de planícies de inundação no Paraná médio

Argentino Bonetto foi um naturalista argentino que estudou por mais de quarenta anos a dinâmica da planície de inundação do Paraná médio e sua influência sobre as comunidades biológicas. Quando começou suas pesquisas em meados da década de 50 do século passado, percebeu que as caracterizações limnológicas da época pouco poderiam contribuir ao entendimento do Paraná médio e sua planície. Era necessária uma nova limnologia, conceitualmente além do lago como microcosmos<sup>77</sup> e que enxergasse além das margens do rio.

Em um primeiro momento, influenciado pelo paradigma da zonation e baseado nos seus estudos de distribuição de peixes, poríferos e moluscos, bem como nas características geológicas e geomorfológicas da bacia do rio Paraná, dividiu a mesma em quatro segmentos: Paraná superior, alto Paraná, Paraná médio e Paraná inferior. Para Bonetto, o Paraná superior e o alto Paraná representavam o *ritbron* e o Paraná médio e inferior o *potamon*, segundo os conceitos de Illies & Botosaneanu<sup>78</sup> e sua modificação por parte de Welcomme<sup>79</sup>.

Bonetto também foi fortemente influenciado por Margalef<sup>80</sup> e Odum<sup>81</sup> e a sucessão longitudinal dos sistemas fluviais. Desse modo, o Paraná superior e o alto Paraná representavam etapas imaturas da sucessão, enquanto que o Paraná médio e o inferior seriam estágios mais evoluídos, com maior organização, estabilidade, aumento da biomassa e complexidade das teias tróficas.<sup>82</sup>

Apesar de influenciado pelas correntes teóricas dominantes da época, Bonetto e seus colaboradores souberam perceber que as diferenças dos grandes sistemas hidrográficos sul-americanos, com relação aos rios setentrionais temperados, estão na amplitude e complexidade do seu vale aluvial e nos ciclos climáticos e hidrológicos, que juntos determinam mudanças na evolução biótica e bioprodutividade, as quais reconfiguram os caracteres da sucessão longitudinal.

Assim, segundo Bonetto, o incremento do derrame no verão e na primavera modifica substancialmente as condições físicas e químicas das águas da planície, aumentando as concentrações de nutrientes e diminuindo os valores de oxigênio dissolvido e turbidez. Também se observava uma tendência geral ao aumento da diversidade específica no fitoplâncton e zooplâncton e à queda mais ou menos brusca da densidade do zoobentos.

De modo geral, as enchentes anuais uniformizam as características físicas e químicas dos corpos de água da pla-

- <sup>56</sup> WARD, J. V. & STANFORD, J. A. Ecological connectivity in alluvial river ecosystems and its disruption by flow regulation. *Reg. Riv. Res. Manag.*, 11:105-119, 1995.
- <sup>57</sup> TOCKNER, K.; MALARD, F. & WARD, J. V. An extension of the floodplain concept. *Hydrological Processes*, 14:2.861-2.883, 2000.
- <sup>58</sup> STANLEY, E. H.; FISHER, E. G. & GRIMM, N. B. Ecosystem expansion and contraction in streams. *BioScience*, 47:427-435, 1997.
- <sup>59</sup> JUNK, W. J.; BAYLEY, P. B. & SPARKS, R. *Op. cit.*
- <sup>60</sup> JOHNSON, L. & GAGE, S. Landscape approach to the analyses of aquatic habitats. *Freshwater biology*, 37:113-132, 1997.
- RICHARDS, C.; JOHNSON, L. & HOST, G. Landscape influences on stream habitats and biota. *Can J. Fish. Aquat. Sci.*, 53(suppl 1):295-311, 1996.
- <sup>61</sup> ARENAS-IBARRA, J. *et al. Op. cit.*, 2010. MIRANDA, L. E. & RABORN, E. W. *Op. cit.* WIENS, J.; MOSS, M. R.; TURNER, M. G. & MLADENOFF, D. *Op. cit.*
- <sup>62</sup> BRIGANTE, J. & ESPÍN-DOLA, E. A bacia hidrográfica: aspectos conceituais e caracterização geral da bacia do rio Mogi Guaçu. In: BRIGANTE, J. & ESPÍN-DOLA, E. (Ed.). *Limnologia Fluvial, um estudo no rio Mogi Guaçu*. São Carlos: Rima Editora, 2003. p. 1-13.
- <sup>63</sup> WARD, J. V. The four-dimensional nature of lotic ecosystems. *Journal of the North American Benthological Society*, 8:2-8, 1989.
- <sup>64</sup> PRINGLE, C. *et al. Op. cit.* RESH, V. H. *et al. Op. cit.* NAIMAN, R. J. *et al.* The potential importance... *Op. cit.*
- <sup>65</sup> WARD, J. V. *et al.* Biodiversity of floodplain. *Op. cit.*
- <sup>66</sup> NEIFF, J. J. Planícies de inundação são ecótonos? In: HENRY, R. (Ed.). *Ecótonos nas interfaces dos ecossistemas aquáticos*. São Carlos: Rima, 2003. p. 29-45.
- <sup>67</sup> KALLIOLA, R.; PUHAK-

- KA, M. & DANJOY, W. *Amazonia Peruana, vegetación húmeda tropical en el llano subandino*. Jyväskylä: Proyecto Amazonia, Universidad de Turku (PAUT), Oficina Nacional de Recursos Naturales (ONERN), Gummerus Printing, 1993. 265 p.
- KALLIOLA, R. & FLORES, S. *Geoecología y desarrollo amazónico, estudio integrado de la zona de Iquitos, Perú*. *Annales Universitatis Turkuensis*, Turku, Serie A II, 114, 1998. 544 p.
- <sup>68</sup> CARLING, P. A. & PETTS, G. E. *Lowland floodplain rivers: geomorphological perspectives*. Chichester: John Wiley & Sons, 1992. 302 p.
- <sup>69</sup> PETTS, J. E. & AMOROS, C. *The Fluvial hydrosystem*. London: Chapman & Hall, 1996. 322 p.
- <sup>70</sup> WARD, J. V.; TOCKNER, K.; ARSCOTT, B. & CLARRET, C. Riverine landscape diversity. *Freshwater Biology*, 47:517-539, 2002.
- <sup>71</sup> ZALEWSKI, M. & WAGNER-LOTKOWSKA, I. *Integrated watershed management-Ecology & Phytotechnology-manual*. Venice: International Hydrological Programme UNESCO (IHP)-Regional Bureau for Sciences in Europe (UNESCO – ROSTE), United Nations Environmental Programme (UNEP-DTIE-IETC), International Centre for Ecology PAS, Department of Applied Ecology University of Łódź, 2004. 246 p.
- <sup>72</sup> DUNBAR, M. J. & ACREMAN, M. C. Applied hydroecological sciences for the twenty-first century. In: ACREMAN, M. C. (Ed.). *Hydro-Ecology: Linking Hydrology and Aquatic Ecology*. IAHS Publication n.º. 266. Wallingford: IAHS Press, 2001. p. 1-17.
- <sup>73</sup> HANNAH, D. M.; WOOD, P. J. & SADLER, J. P. Ecohydrology: a “new paradigm”? *Hydrological Process*, 18:3.439-3.445, 2004.
- <sup>74</sup> HANNAH, D. M.; SADLER, J. P. & WOOD, P. J. Hydro-nície, passando a adquirir aquelas que são próprias do rio, tanto que no período de seca recuperam sua individualidade e manifestam-se suas variadas particularidades. Este fenômeno também é observado até certo ponto no conteúdo biótico das lagoas, especialmente nos organismos planctônicos.<sup>83</sup>
- Por sua vez, a inundação permite eliminar com bastante regularidade os excessos de produção biológica dos ambientes lênticos relacionados ao rio e, assim, corrigir ou amortecer os processos de acúmulo de matéria orgânica (principalmente macrófitas aquáticas), introduzindo uma variável mais efetiva, que soma recuperação e rejuvenescimento.<sup>84</sup> Bonetto comparou esta circunstância ao “ecossistema de nível flutuante” ou *pulse stability system* de Odum, caracterizados por uma situação de compromisso entre estados alternados de maturidade e rejuvenescimento.
- As ideias e observações de Bonetto, embora tenham sido esboçadas pela primeira vez há mais de trinta e cinco anos, permanecem vigentes. O processo de uniformização é abordado com base em modelos empíricos por diversos autores na planície de inundação do alto rio Paraná e na planície do Danúbio.<sup>85</sup> Os autores sugerem a variação das concentrações de nitrogênio, fósforo e clorofila como indicadores de inundação. Do mesmo modo, o *rejuvenescimento* é retomado por Junk *et al.*<sup>86</sup>, que o denominam *reset process*, concordando com Salo *et al.*<sup>87</sup> em assimilá-lo à hipóteses de distúrbio intermediário<sup>88</sup>.
- A ideia de que os rios de planície e suas comunidades estão fortemente condicionados na sua estrutura e funcionamento pelo regime de pulsos foi enunciada por Bonetto e seus colaboradores em 1972, e posteriormente retomada em sucessivas publicações.<sup>89</sup> É bem verdade que tanto Fittkau como Sioli, Neiff ou Junk tinham ideias similares<sup>90</sup>, mas até antes da publicação do espiral de nutrientes e do RCC, as descrições de Bonetto relativas aos processos associados às enchentes e vazantes eram das mais completas conceitualmente. Bonetto salientava a contribuição de nutrientes do rio à várzea numa época em que se pensava mais na influência dos detritos “alóctones” ao rio.<sup>91</sup> Embora imbuído das ideias de zonação e de sucessão longitudinal, Bonetto encontrava diferenças nos processos que aconteciam nos trechos de planície do Paraná médio e naqueles que aconteciam no Paraná superior e no alto Paraná. Entretanto, nenhuma de suas ideias foi levada em consideração para o desenvolvimento da ecologia fluvial, embora referidas nas contribuições de seus discípulos, até que uma visão mais completa e congruente com sua conceituação foi estabele-

ecology and ecohydrology: a potential route forward? *Hydrol. Process.*, 21:3.385-3.390, 2007.

- <sup>75</sup> PAES, A. & SANTOS, J. E. Ecologia de paisagem: abordando a complexidade dos processos ecológicos. In: SANTOS, J. E.; CAVALHEIRO, F.; PIRES, J. S. R.; OLIVEIRA, C. H. & PIRES, A. *Faces da polissemia da paisagem, ecologia, planejamento e percepção*. v. 1. São Carlos: Rima Editora, 2004. p. 1-22.
- <sup>76</sup> SCHIAVETTI, A. & CARMARGO, A. *Conceitos de bacias hidrográficas, teorias e aplicações*. Ilhéus: Editus, Universidade Estadual de Santa Cruz, 2002. 293 p.
- BARBOSA, D. S. & ESPINDOLA, E. Algumas teorias ecológicas aplicadas a sistemas lóticos. In: BRIGANTE, J. & ESPINDOLA, E. (Ed.). *Limnologia Fluvial, um estudo no rio Mogi Guaçu*. São Carlos: Rima Editora, 2003. XV-XXII.
- <sup>77</sup> FORBES, F. A. The lake as a microcosm. Bulletin Peoria (Illinois Sciences Association), 1887. In: REAL, L. A. & BROWN, J. H. (Ed.). *Foundations in Ecology: Classic papers with commentaries*. Chicago: University of Chicago Press, 1991. p. 77-87.
- <sup>78</sup> ILLIES, J. & BOTOSANEANU, L. *Op. cit.*
- <sup>79</sup> WELCOMME, R. L. *The fisheries ecology of floodplain rivers*. London: Longman Press, 1979. 317 p.
- <sup>80</sup> MARGALEF, R. *Op. cit.*
- <sup>81</sup> ODUM, H. T. *Trophic Structure... Op. cit.*
- <sup>82</sup> BONETTO, A. A. *Calidad de las aguas del río Paraná. Introducción a su estudio ecológico*. Santa Fé: Dirección Nacional de Construcciones Portuarias y Vías Navegables, Instituto Nacional de Ciencia y Tecnología, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (FAO), Oficina de Cooperación Técnica de la Organización de las Na-

cida dezoito anos depois.<sup>92</sup> Isto pode ser evidenciado pelas reduzidas citações dos seus trabalhos (figura 3).

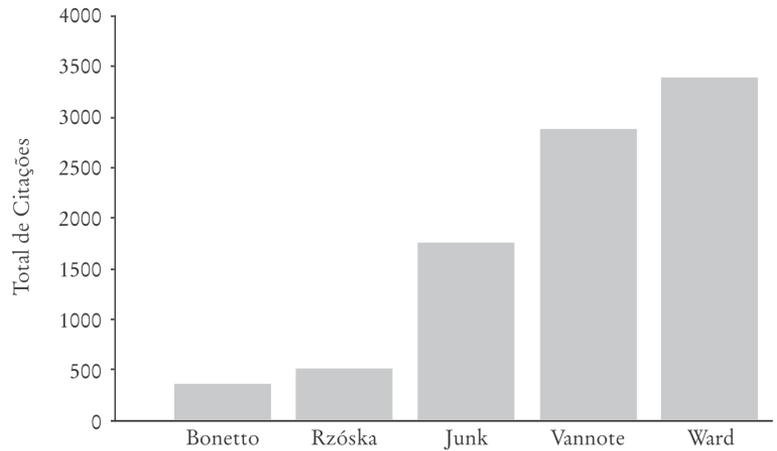


Figura 2: Citações dos trabalhos de Bonetto e Rzóška em comparação com autores influentes na ecologia fluvial. Fonte: ISI Web of Knowledge, abril de 2008.

## Julian Rzóška, a natureza dos rios e a necessidade da abordagem multidisciplinar

Quando o hidrobiólogo polonês Julian Rzóška chegou ao Sudão em 1946 para lecionar na cátedra de Zoologia da Universidade de Karthoum, foi rapidamente compelido pelo diretor a “fazer alguma coisa” sobre a biologia do rio Nilo. Munido de equipamento rudimentar, mas grande habilidade para observar a natureza, Rzóška começou um dos mais fascinantes e incompreendidos empreendimentos intelectuais de que a ecologia fluvial tem notícia.

Tendo por tarefa estudar uma das maiores bacias hidrográficas do mundo, o hidrobiólogo polonês logo compreendeu que o trabalho não poderia ser realizado por uma pessoa só. Assim, formou um grupo multidisciplinar, cujos integrantes se revezavam para recolher informações físicas e biológicas dos diversos setores da bacia. Seus primeiros estudos em plancton<sup>93</sup> demonstraram que existia um verdadeiro potamoplancton e que a alternância de espécies era uma função das características limnológicas, as quais dependiam das características hidrológicas, geomorfológicas e geológicas do ambiente estudado. A composição da assembléia planctônica do Nilo branco era a mesma da observada no Nilo azul que, por sua vez, coincidia com a observada nos ambientes anexos (maior densidade nos alagadiços).<sup>94</sup>

ciones Unidas, 1976. 202 p.

<sup>83</sup> BONETTO, A. A. *Calidad de las aguas del río... Op. cit.* BONETTO, A. A. The Parana River System. In: DAVIES, B. R. & WALKER, K. F. (Ed.). *The Ecology of River Systems*. Dordrecht: Dr. W. Junk Publishers, 1986. p. 541-555. (Monographiae Biologicae, n. 60) BONETTO, A. A.; WAIS, I. R. & CASTELLO H. P. The increasing damming of the Paraná basin and its effects on the lower reaches. *Regulated Rivers Research and Management*, 4:333-346, 1989.

<sup>84</sup> BONETTO, A. A. Hydrologic regimen of the Paraná river and its influence on ecosystem. In: HASSLER, A. D. (Ed.). *Coupling of land and water systems*. New York: Springer-Verlag, 1975. p. 175-198.

BONETTO, A. A. *Calidad de las aguas del... Op. cit.*

BONETTO, A. A. The Parana River System... *Op. cit.*

<sup>85</sup> THOMAZ, S. M.; ROBERTO, M. C. & BINI, L. M. Caracterização limnológica dos ambientes aquáticos e influência dos níveis fluviométricos. In: VAZZOLER, A. E. A. M.; AGOSTINHO, A. A. & HAHN, N. S. (Eds.). *A planície de inundação do alto rio Paraná: aspectos físicos, químicos, biológicos e sócio-econômicos*. Maringá: EDUEM/Nupélia, 1997. p. 73-102.

THOMAZ, S. M. *et al.* Limnological characterization of the aquatic environments and the influence of hydrometric levels. In: THOMAZ, S. M.; AGOSTINHO, A. A. & HAHN, N. S. (Org.). *The Upper Paraná river floodplain physical aspects, ecology and conservation*. Leiden, The Netherlands: Backhuys Publishers, 2004. p. 75-102. THOMAZ, S. M.; BINI, L. M. & BOZELLI, R. L. Floods increase similarity among aquatic habitats in river-floodplain systems. *Hydrobiologia*, 579:1-13, 2007. TOCKNER, K. *et al.*, *Op. cit.*

De outro lado, como as bacias hidrográficas tinham períodos de enchentes diferentes, era possível encontrar espécies mais associadas a um ou outro rio na sua confluência frente à cidade de Karthoum (Sudam). O que hoje parece uma coisa lógica era um revolução conceitual impressionante numa época em que a maior parte dos estudos sobre rios estava relacionada a trechos de pequenas bacias e riachos.

Com o transcorrer do tempo, Rzóska e seus colaboradores ampliaram suas conclusões a outros grupos zoológicos e botânicos e à bacia inteira, resultando no tratado *The Nile: biology of an ancient river*<sup>95</sup>, em que, além de dados sobre a limnologia e hidrobiologia (assim separada pelos autores) da bacia do Nilo desde o lago Vitória até seu delta, incluíam aspectos de geologia, geomorfologia, história e interferência humana. Assim, para Rzóska,

*um rio é uma paisagem dependente da interação água-terra ao longo da bacia hidrográfica e de suas características geológicas, geomorfológicas, hidráulicas, hidrológicas e biológicas.*

O pesquisador polonês visualizava os rios como “artérias de vida”, intrinsecamente ligadas aos povos que florescem em suas margens. Referências à ligação homem-rio são tópico recorrente nos seus estudos.<sup>96</sup>

Talvez o maior legado para a posteridade de Rzóska tenha sido seu ensaio *On the nature of the rivers*<sup>97</sup>, em que tece as seguintes considerações:

– Os rios não são ecossistemas, pelo menos não no sentido de Tansley, pois a direção do seu fluxo não permite a recirculação de matéria e energia.

– Os principais determinantes da dinâmica fluvial são o comprimento, a velocidade e a duração do fluxo que influenciam o tipo de biota presente.

– A calha do rio e as planícies de inundação conformam uma unidade funcional, pois ambos contribuem para a manutenção da sua dinâmica.

– Para estudar e entender os rios a cooperação interdisciplinar é necessária, dada a imensidão dos problemas por resolver. Os biólogos que estudam rios devem ser proficientes no entendimento de seus aspectos hidráulicos e hidrológicos para a cabal compreensão dos sistemas fluviais.

Na época em que foi publicado, *On the nature of rivers* foi considerado controverso. Rzóska foi criticado por definir os rios fora do conceito de ecossistema<sup>98</sup>, mas suas ideias não foram totalmente esquecidas. Neiff<sup>99</sup> retoma o pensamento racionalista de Rzóska, mencionando também

- <sup>86</sup> JUNK, W. J.; BAYLEY, P. B. & SPARKS, R. *Op. cit.*
- <sup>87</sup> SALO, J. *et al.* River dynamics and the diversity of Amazon lowland forest. *Nature*, 322:254-258, 1986.
- <sup>88</sup> CONNELL, J. H. Diversity in tropical rain forests and coral reefs. *Science*, 199:1.302-1.310, 1978.
- <sup>89</sup> BONETTO, A. A. Hydrologic regimen of... *Op. cit.*  
 BONETTO, A. A. *Calidad de las aguas del río...* *Op. cit.*  
 BONETTO, A. A. The Parana River System... *Op. cit.*  
 BONETTO, A. A.; WAIS, I. R. & CASTELLO H. P. The increasing damming... *Op. cit.*  
 BONETTO, A. A. & WAIS, I. R. The Paraná river... *Op. cit.*  
 BONETTO, A. A. & WAIS, I. R. El concepto de... *Op. cit.*
- <sup>90</sup> FITTKAU, E. J. Remarks on limnology of central... *Op. cit.*  
 SIOLI, H. Hydrochemistry and geology in the Brazilian Amazon region. *Amazoniana*, 1(3):267-277, 1968.  
 SIOLI, H. Tropical rivers as expressions of their terrestrial environment. In: GOLLEY, F. B. & MEDINA, E. (eds.). *Tropical Ecosystems: Trends in terrestrial and aquatic research*. New York: Springer Verlag, 1975. p. 275-287.  
 NEIFF, J. J. Fluctuaciones de la vegetación acuática en ambientes del valle de inundación del Paraná Medio. *Physis*, 38:41-53, 1978.  
 JUNK, W. J. Investigations on the ecology and production-biology of the "floating meadows" (*Paspalo-Echinochloetum*) on the Middle Amazon. I. The floating vegetation and its ecology. *Amazoniana*, 2(4): 449-495, 1970.  
 JUNK, W. J. Áreas inundáveis: um desafio para a limnologia. *Acta amazônica*, 10(4): 775-795, 1980.
- <sup>91</sup> LIKENS, G. E. & BOR-MANN, F. H. An experimental approach... *Op. cit.*
- <sup>92</sup> JUNK, W. J.; BAYLEY, P. B. & SPARKS, R.... *Op. cit.*
- <sup>93</sup> TALLING, J. F. & RZÓSKA, J. The development of plankton in relation to hydrological regime in the Blue

que os rios não são ecossistemas, pelo menos não no sentido de Tansley<sup>100</sup>, pois não apresentam limites discerníveis, tampouco alta ciclagem interna. Diferentemente destes, explica Neiff<sup>101</sup>, os rios têm fluxos de energia direcionais e não circuitais. Por isso, segundo esse autor, parece mais apropriado referir-se aos rios de planície como *macro-sistemas fluviais*, que seriam uma unidade funcional que integraria os ecossistemas e paisagens da bacia hidrográfica e o conjunto particular de interações entre estes, determinadas pela matéria e energia que proporcionam. O'Neill *et al.*<sup>102</sup> sugerem um marco conceitual hierárquico para a análise das escalas em ecologia, enquanto que O'Neill<sup>103</sup> é mais radical e faz diversas sugestões para modificar o conceito de ecossistema e *enterrá-lo de vez*. Hunsaker & Levin<sup>104</sup>, Johnson & Gage<sup>105</sup> e Richards *et al.*<sup>106</sup> também sugerem uma abordagem hierárquica para o estudo dos rios estabelecendo como unidade fundamental, a paisagem.

Os elementos descritores da dinâmica fluvial propostos por Rzóska<sup>107</sup> foram resumidos por Neiff<sup>108</sup> a um único indicador, o tempo de residência da água na bacia hidrográfica ou em determinado setor da mesma. Este é também o principal indicador para calcular a biomassa planctônica em reservatórios<sup>109</sup>. Quanto a Stazner & Higler<sup>110</sup>, depois das suas severas críticas ao RCC<sup>111</sup>, apontam a hidráulica dos rios como principal determinante do desenvolvimento das comunidades biológicas. Finalmente, a ecologia, como Rzóska mencionou há vinte anos, enfatiza a junção da ecologia e hidrologia para o apropriado gerenciamento da bacia hidrográfica e o entendimento dos processos que nela ocorrem. No entanto, salvo nos trabalhos de Neiff<sup>112</sup> e Talling & Lemoalle<sup>113</sup>, as citações dos trabalhos de Rzóska são escassas.

## Considerações finais

Miranda & Raborn<sup>114</sup> sugerem que a evolução da ecologia fluvial reflete a mudança de uma perspectiva reducionista – por ser pouco realista, embora forneça grande compreensão dos problemas e controle sobre pequenas partes do ecossistema – para uma perspectiva holista – de grande realismo, embora forneça baixa compreensão dos problemas e limitado controle sobre partes pequenas do ecossistema. Esta mudança de perspectiva e paradigmas (quadro 1) acompanharia, por sua vez, as mudanças acontecidas na ecologia teórica – do determinismo<sup>115</sup> a processos estocásticos<sup>116</sup>, do balanço da natureza a uma natureza não balanceada, da homogeneidade à heterogeneidade<sup>117</sup>.

Nile. *Journal of Ecology*, 55(3):637-662, 1967.

<sup>94</sup> RZÓSKA, J. The upper Nile swamps, a tropical wetland study. *Freshwater biology*, 4:1-30, 1974.

<sup>95</sup> RZÓSKA, J. *The Nile: Biology of an Ancient River*. The Hague: Dr. W. Junk Publishers, 1976. 417 p. (Monographiae Biologicae, n.º 29)

<sup>96</sup> RZÓSKA, J. *The Nile: Biology of an Ancient... Op. cit.*, 1976.

RZÓSKA, J. *On the nature of rivers: with case stories of Nile, Zaire, and Amazon*. The Hague: Dr. W. Junk Publishers, 1978. 67 p.

RZÓSKA, J.; TALLING, J. F. & BANISTER, K. E. *Euphrates e Tigris, Mesopotamian ecology and destiny*. The Hague: Dr. W. Junk Publishers, 1980. 122 p. (Monographiae Biologicae, n.º 38).

<sup>97</sup> RZÓSKA, J. *On the nature of rivers: with case... Op. cit.*

<sup>98</sup> MANN, K. H. Review: On the nature of rivers: with case stories of Nile, Zaire, and Amazon. *Limnology and Oceanography*, 24(6):1.177-1.178, 1979.

MINSALL, G. W. *et al.* Interbiome Comparison of Stream Ecosystem... *Op. cit.*

<sup>99</sup> NEIFF, J. J. Ideas para la interpretación... *Op. cit.*

<sup>100</sup> TANSLEY, A. G. The use and misuse of vegetational terms and concepts. *Ecology*, 16(3):284-307, 1935.

<sup>101</sup> NEIFF, J. J. Ideas para la interpretación... *Op. cit.*

<sup>102</sup> O'NEILL, R. A. V.; JHONSON, A. R. & KING, A. W. A hierarchical framework for the analyses of scale. *Landscape ecology*, 3:193-205, 1989.

<sup>103</sup> O'NEILL, R. A. V. Is time to bury the ecosystem concept? (with full military honors of course!). *Ecology*, 82(12): 3.275-3.284, 2001.

<sup>104</sup> HUNSAKER, C. T. & LEVIN, D. A. Hierarchical approach to the study of water quality in rivers. *Bio-science*, 45(3):193-203, 1995.

Não obstante, alguns ecólogos não ligados à ecologia fluvial consideram que tais mudanças de perspectiva na ecologia não são tão drásticas para serem chamadas de revoluções e novos paradigmas, preferindo chamar a este processo, revolução conceitual contínua.<sup>118</sup> Do mesmo modo, a disjunção entre a visão Clementsiana e Glesoneana não é percebida como mudança de paradigma na ecologia de comunidades, mas sim como um dos processos de controvérsia que caracterizam a evolução do pensamento ecológico.<sup>119</sup> Na opinião de Mayr<sup>120</sup>, Kuhn não faz diferença entre mudanças teóricas causadas por novos descobrimentos e aquelas resultantes do desenvolvimento de conceitos inteiramente novos. Em parte, a dificuldade em definir se estamos ou não frente a um novo paradigma provém da aparente ambiguidade da sua definição<sup>121</sup>. Voltando à argumentação de Miranda & Raborn<sup>122</sup>, poderia a ecologia fluvial ter mudanças paradigmáticas se supostamente seguiu uma ciência cujos pesquisadores questionam quem as teve?

*Quadro 1: Mudanças de perspectivas e paradigmas em ecologia fluvial*

	Paradigma		
	Zonação	Conectividade	Ecoidrologia
<b>Influências conceituais</b>	Balanco da natureza Biogeografia, limnologia de lagos história natural	Desequilíbrio Ecologia de ecossistemas comunidades	Desequilíbrio Ecologia de paisagens e biologia da conservação, hidrologia e geomorfologia
<b>Fundamento teórico</b>	Habitats e comunidades existem em organizações discretas	Habitats e comunidades estão em transição e representam um contínuo	<i>Patch dynamics</i> , processos de conectividade em escala de paisagem
<b>Base metodológica</b>	Escala longitudinal	tetradimensional	pentadimensional (adiciona dimensão humana), dimensão temporal ajustada à geomorfologia e hidrologia
<b>Instrumental</b>	Instrumentação orientada a determinar diferenças bióticas e abióticas entre os trechos do rio	Instrumentação orientada a medir os fluxos de matéria e energia	GIS, instrumental hidrológico e geomorfológico
<b>Unidade de estudo</b>	Trechos do rio (reducionista)	Bacia hidrográfica como ecossistema (holista)	Bacia hidrográfica como mosaico de paisagens (holista hierárquico)

A resposta é dada pelo próprio Kuhn. As mudanças de paradigma são mudanças de foco de estudo, mas que geralmente vêm acompanhadas de mudanças metodológicas

- <sup>105</sup>JOHNSON, L. & GAGE, S. *Op. cit.*
- <sup>106</sup>RICHARDS, C.; JOHNSON, L. & HOST, G. *Op. cit.*
- <sup>107</sup>RZÓSKA, J. *On the nature of rivers: with case...* *Op. cit.*
- <sup>108</sup>NEIFF, J. J. Ideas para la interpretación... *Op. cit.*
- <sup>109</sup>TUNDISI, J. G. Reservoirs as complex systems. *Ciência e Cultura. Journal of the Brazilian Association for the advancement of science*, 48(5/6):383-387, 1996.
- <sup>110</sup>STATZNER, B. & HIGLER, B. Stream hydraulic... *Op. cit.*
- <sup>111</sup>STATZNER, B. & HIGLER, B. Questions and comments on the river... *Op. cit.*
- <sup>112</sup>NEIFF, J. J. Ideas para la interpretación... *Op. cit.*
- <sup>113</sup>TALLING, J. F. & LEMOALLE, J. *Ecological Dynamics of Tropical Inland Waters*. Cambridge: Cambridge University Press, 1999. 452 p.
- <sup>114</sup>MIRANDA, L. E. & RABORN, E. W. *Op. cit.*
- <sup>115</sup>CLEMENTS, F. E. *Research methods in ecology*. Nebraska: University Publishing Co., 1905. 512 p.
- CLEMENTS, F. E. Nature and structure of the climax. *The Journal of Ecology*, 24: 252-284, 1936. In: REAL, L. A. & BROWN, J. H. (Ed.). *Op. cit.* p. 59-97.
- <sup>116</sup>GLEASON, H. A. The individualistic concept of the plant association. *Bulletin of the Torrey Botanical Club*, 53(1):7-26, 1926.
- GLEASON, H. A. Further views on the succession-concept. *Ecology*, 8(3):299-326, 1927.
- <sup>117</sup>WU, J. & LOUCKS, O. L. From Balance of Nature to Hierarchical Patch Dynamics: A Paradigm Shift in Ecology. *The Quarterly Review of Biology*, 70(4):439-466, 1995.
- <sup>118</sup>PAINE, R. T. *Op. cit.*
- CUDDINGTON, K. & BEISNER, B. *Op. cit.*
- <sup>119</sup>NUÑEZ, P. G. & NUÑEZ M. A. *Op. cit.*
- <sup>120</sup>MAYR, E. *What Makes Biology Unique?... Op. cit.*

importantes. No caso da ecologia fluvial, novas metodologias e aparelhos tiveram que ser criados para mensurar os fluxos de matéria e energia que o paradigma da conectividade exigia e conceituava, metodologias e aparelhos que não eram utilizados nos empreendimentos que pretendiam *zonear* o rio.

No caso da ecologia de ambientes terrestres, o conceito de ecossistema e sua analogia mecanicista vieram a ganhar força só no mundo de pós-guerra, pois antes disso tratava-se basicamente de um conceito de limitada operacionalidade na ecologia vegetal. Desenvolvimentos subsequentes tiveram o intuito de ampliar-lhe o espectro.<sup>123</sup> Contudo, ao estudar os campos mais tradicionais da ecologia (ecologia de comunidades e ecossistemas) sob o espectro das revoluções kuhmianas, pode-se deparar com dificuldades. A maioria dos conceitos destas áreas é recente e se encaixa mais no desenvolvimento *intraparadigma* como parte da atividade da *ciência normal*, pois mudanças paradigmáticas não são simples de acontecer. Em ecologia fluvial, por exemplo, a *ecohidrologia* não constituiria um paradigma propriamente dito e se encaixaria mais no processo de desenvolvimento por *ramificação* de sub-áreas que Graham *et al.* descrevem para a ecologia<sup>124</sup>.

Quais as vantagens e desvantagens de assimilar a evolução do conhecimento a um determinado modelo epistemológico?

Na opinião de Rigler e Peters<sup>125</sup>, fazer ciência com base em determinados princípios lógicos fortalece a validade dos conhecimentos gerados e favorece o processo de aceitá-los ou rejeitá-los. Se a ciência contar com um corpo formalmente lógico e um critério de delimitação apropriado, a atividade científica pode centrar-se na avaliação das propostas formalmente válidas e rejeitar ou simplesmente não perder tempo analisando aquelas que não o são. Este é o intuito principal do modelo falsificacionista<sup>126</sup>, onipresente nas ciências formais. O modelo de publicação dos periódicos científicos mais importantes fundamenta-se na formulação de hipóteses e enunciados gerais e no acúmulo de informações para demonstrar a validade de novos conceitos. Esta é a forma como estão propostos, por exemplo, o RCC, SDC e FPC (quadro 2). As perguntas que cabem seriam: é este o único modo de se fazer ciência? Uma maneira menos formal seria mais bem sucedida, ou seja, geraria mais conhecimento e mais rapidamente?

Um dos principais méritos de *A Estrutura das Revoluções Científicas* foi o de reivindicar a “humanidade” da ciência. A supostamente fria objetividade científica sugerida

<sup>121</sup>MASTERMAN, M. A natureza de um paradigma. In: LAKATOS, I. & MUSGRAVE, A. *A crítica e o desenvolvimento do conhecimento*. São Paulo: Cultrix, 1979. p. 72-109.

<sup>122</sup>MIRANDA, L. E. & RABORN, E. W. *Op. cit.*

<sup>123</sup>GOLLEY, F. B. *Op. cit.*  
O'NEILL, R. V. Is time to bury the ecosystem. *Op. cit.*

<sup>124</sup>GRAHAM, M. H. & DAYTON, P. K. *Op. cit.*

<sup>125</sup>RIGLER, F. H. & PETERS, R. H. *Op. cit.*

pele falsificacionismo para as refutações tropeça na própria natureza de seus cultores.<sup>127</sup> O principal objetivo do livro de Kuhn não foi retratar a ciência como anárquica e submetida aos interesses de uns poucos, mas sim identificar as falhas na sua evolução: a existência de observações anômalas aos paradigmas não detectadas ou ignoradas pelos *cientistas normais*. Na introdução do seu texto, Kuhn menciona: “necessitamos estudar detalhadamente o modo pelo qual as anomalias ou violações de expectativa atraem a crescente atenção de uma comunidade científica, bem como a maneira pela qual o fracasso repetido na tentativa de ajustar uma anomalia pode induzir a emergência de uma crise”<sup>128</sup>.

Quadro 2: Modelos científicos adotados pelas teorias sobre rios – RCC, SDC e FPC

Conceito	RCC (Vannote <i>et al.</i> , 1980)	SDC (Ward & Stanford, 1983, 1995)	FPC (Junk <i>et al.</i> , 1989)
Hipótese	Rios como gradiente longitudinal de condições hidrogeomorfológicas que determinam a distribuição dos organismos aquáticos	Descontinuidade ocasionada por reservatórios modifica previsivelmente o gradiente de conectividade longitudinal, lateral e vertical	Pulso de inundação é a maior força controlando a biota em rios-planície de inundação. Ciclagem de nutrientes na planície e intercâmbio lateral com o rio, são mais importantes para a biota do que a espiral de nutrientes (RCC)
Enunciado 1	Ordem dos rios como determinante da estrutura e função (produção/respiração) do ecossistema fluvial	Variações previsíveis na espiral de nutrientes em função da ordem do rio barrado (1983) e do padrão de canal (1995)	ATTZ: área de transição aquático terrestre= planície de inundação. Áreas que são periodicamente inundadas por transbordamento lateral de rios ou lagos e/ou por precipitações ou afloramento
Enunciado 2	Organização biológica em rios em função dos padrões de dissipação da energia cinética	Variações previsíveis na estabilidade do canal em função da ordem do rio barrado (1983) e do padrão de canal	Moving litoral = efeito de borda (ecótone)
Enunciado 3	Não variação temporal e ausência de sucessão	Variações previsíveis na conectividade em função da ordem do rio barrado (1983) e do padrão de canal (1995)	
Enunciado 4	Variações ambientais resultam em elevada diversidade biológica em um gradiente longitudinal		

<sup>126</sup>POPPER, K. *Op. cit.*

<sup>127</sup>BASTOS FILHO, J. N. Sobre os paradigmas de Kuhn, o problema da incomensurabilidade e o confronto com Popper. *Acta Scientiarum*, 22 (5):1.297-1.309, 2000.

<sup>128</sup>KUHN, T. S. *A estrutura das revoluções... Op. cit.*

<sup>129</sup>FEYERABEND, P. *Diálogo sobre el método*. Madrid: Ediciones Cátedra S. A., 1989. 165 p.

Paul Feyerabend, também critica duramente a “objetividade” da ciência e o poder que os cientistas parecem ter de decidir o que é e o que não é importante estudar, interesse muitas vezes afastado das necessidades da sociedade que lhes paga os salários.<sup>129</sup> Para Feyerabend, qualquer tipo de conhecimento que contribua ao bem-estar da sociedade ou que mostre perspectivas para um maior desenvolvimento de determinado campo da ciência é válido, sem importar como foi obtido ou como foi expresso. É isto o que quer dizer seu arquetípico “*anything goes*”<sup>130</sup>.

- <sup>130</sup>FEYERABEND, P. *Against the method*. New York: Verso, 1993. 279 p.
- <sup>131</sup>GONZÁLES DEL SOLAR, R. & MARONE, L. The freezing of science: consequences of dogmatic teaching of ecology. *Bioscience*, 51:683-686, 2001.
- <sup>132</sup>MARSHALL, A. A post-modern natural history of the world: eviscerating the GUTS from ecology and environmentalism *Stud. Hist. Phil. Biol. & Biomed. Sci.*, 29 (1):137-164, 1998.
- ALLEN, T. F. H.; ZELLMER, A. J. & WUENNENBERG, C. J. The Loss of narrative. In: BEISNER, B. & CUD-DINGTON, K. *Ecological Paradigms Lost: Routes of Theory Change*. San Diego: Elsevier Academic Press, 2005. p. 333-370.
- <sup>133</sup>PLATT, J. R. *Op. cit.*
- LAKATOS, I. *Op. cit.*
- <sup>134</sup>MAYR, E. The autonomy of biology... *Op. cit.*
- MAYR, E. *What Makes Biology Unique?... Op. cit.*
- <sup>135</sup>WOOD, P. J.; HANNAH, D. M. & SADLER, J. P. *Hydroecology and Ecohydrology: Past, Present and Future*. New York: John Wiley & Sons Inc, 2008. 460 p.

José Antonio Arenas-Ibarra é graduado em Ciências Biológicas e doutor em Ciências Ambientais. É professor da Faculdade de Biología Marinha e Econegócios da Universidad Científica del Sur e consultor em biodiversidade, ecologia e meio ambiente da empresa Terra Aqua Peru SAC e da ONG Kawsay Pacha-Asociación Biodiversidad, Peru.  
josearenas@yahoo.com

Edvard Elias de Souza Filho é graduado em Geologia, doutor em Geociências e professor do Departamento de Geografia e pesquisador do Grupo de Estudos Multidisciplinares do Ambiente da Universidade Estadual de Maringá, Paraná.  
souza.filho@pq.cnpq.br

Qual seria a vantagem de aplicar o modelo kuhniano a uma determinada ciência? Como mencionado, o modelo é feito para procurar anomalias. Estudantes ou pesquisadores instruídos numa concepção kuhniana de ecologia fluvial poderiam ser incentivados a procurar as anomalias de paradigmas dominantes. Assim, quem sabe, os trabalhos visionários de autores como Bonetto e Rzóska teriam número maior de citações e sua importância não decresceria no tempo. Desde esta perspectiva, uma visão mais crítica no ensino da ecologia, afastada do singelo ensinamento repetitivo dos paradigmas, poderia nos fazer fugir do estancamento dogmático.<sup>131</sup> Quem sabe incorporando também um pouco da anarquia de Paul Feyerabend alcançaríamos um maior pluralismo no julgamento da importância das contribuições científicas.

Resulta pelo menos paradoxal que, sendo a ecologia uma ciência que avançou tanto em seus conceitos com base nas “novelas conceituais” que eram os artigos científicos de George Evelyn Hutchinson, olhe hoje com certo desprezo as comunicações que não estejam escritas *popperianamente*. Afortunadamente a ecologia pós-moderna busca devolver a esta ciência maravilhosa um pouco de sua beleza e pluralidade, hoje ameaçadas pelo formalismo lógico. Marshall e Allen *et al.* defendem o resgate da narrativa em ecologia e a volta àquela que era a principal fonte de conhecimento do ecólogo: a observação da natureza e as abstrações científicas feitas sobre ela.<sup>132</sup>

A presente contribuição não procura cerrar fileiras sobre uma determinada visão epistemológica da ciência, e sim resgatar a pluralidade característica da ciência ecológica para extrair o que de melhor existe em cada abordagem. O modelo kuhniano é útil na pesquisa de conhecimentos anômalos e no combate aos aspectos negativos da ciência normal, porém não é o único caminho. Por exemplo, as sugestões de Platt e Lakatos oferecem alternativas interessantes para a condução de experimentos em ecologia<sup>133</sup>. Assim, procurar uma independência forçada como ciência, conforme sugerido por Mayr<sup>134</sup>, não deve nos levar a rejeitar visões que podem bem nos dar bons resultados para gerar conhecimento ecológico. Uma visão contrária estaria em franco desacordo, por exemplo, com o que busca a ecohidrologia: acrescentar perspectivas de outras ciências à ciência ecológica fluvial tradicional, mais ligada à ecologia de comunidades<sup>135</sup>, para melhores soluções aos problemas que enfrentam os sistemas aquáticos atualmente.