

ÍNDICE DE ECOSISTEMAS FLUVIAIS (IEF): UMA PROPOSTA PARA MONITORAMENTO DA QUALIDADE DE ECOSISTEMAS FLUVIAIS NO BRASIL

Terencio Rebello de Aguiar Junior^{1} & Lucília Maria Parron²*

Resumo - O habitat ciliar desempenha um papel fundamental na determinação da saúde geral dos ecossistemas aquáticos. A análise deste ecossistema em conjunto com os dados de análises hidrológicas e geomorfológicas do canal nos permite avaliar e monitorar os ecossistemas fluviais. O objetivo do presente trabalho é descrever o desenvolvimento de um índice de monitoramento de ecossistemas fluviais que pode ser utilizado em campo com a análise de características quantitativas (composição química) e qualitativas (análise visual do estado hidromorfológico e ecológico). O índice foi aplicado na caracterização de duas bacias hidrográficas na região de Ponta Grossa, no Paraná, e foi bastante eficiente como forma de avaliação primária. O índice IEF pode ser considerado uma ferramenta importante para gestores e pesquisadores que não possuem recursos para monitoramento de ecossistemas fluviais, para avaliação de bacias hidrográficas, a partir das condições da vegetação ripária (seção 1) e do canal (seção 2).

Palavras-Chave - ecossistemas fluviais, monitoramento, qualidade ecológica

RIVER ECOSYSTEM INDEX (REI): A PROPOSAL FOR MONITORING THE QUALITY OF RIVER ECOSYSTEMS IN BRAZIL

Abstract - The riparian habitat play a key role in determining the overall health of aquatic ecosystems, analysis of this ecosystem together with data from analyzes of hydrologic and geomorphology of the channel allows us to evaluate and monitor the river ecosystems. The purpose of this article is to describe the development of an index for monitoring river ecosystems which can be calculated easily in the field using measurable characteristics, such as visual analysis, ecological and hydromorphological state, and can be complemented with analyzes of water quality in laboratory. ¹The application of the index in two basins in the Ponta Grossa region, Paraná. The index was very efficient with a quick and simple, allowing an evaluation of effective primary and is ideal for managers and researchers who do not have resources for monitoring of river ecosystems. The index was prepared REI is intended for use by managers of river basin committees, environmental agencies and university students, their use is based on the evaluation and monitoring in order to inform about the condition riparian (section 1) and the channel (section 2).

Keywords – river ecosystems, monitoring, ecological quality

INTRODUÇÃO

O habitat ciliar desempenha um papel fundamental na determinação da saúde geral dos ecossistemas aquáticos, a análise desse ecossistema em conjunto com dados de qualidade da água e análise da geomorfologia do canal nos permite avaliar e monitorar os rios. O Brasil possui uma das maiores redes hidrográficas do mundo, apresentando rios com grandes extensões, largas e

¹ *Bolsista CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
e-mail: terenciojunior@gmail.com

² Pesquisadora EMBRAPA Florestas. e-mail: lucilia.parron@embrapa.br

profundidades variadas. Dada estas grandes dimensões, a compreensão dos impactos das atividades humanas sobre a estrutura ecológica e a função de pequenas bacias hidrográficas é fundamental para otimizar a sua conservação e gestão.

É essencial que os pesquisadores e gestores modifiquem os principais métodos de avaliação existentes que tendem a avaliar os rios e ribeiras de forma isolada de seu entorno, e integrar todos os componentes dos ecossistemas aquáticos, incluindo as zonas húmidas associadas, várzeas, corredores ribeirinhos, e a influência e contribuição de áreas terrestres. Isto é fundamental para entender e proteger as bacias hidrográficas que, devido ao grande crescimento populacional estão muitas vezes sujeitos a uma ampla gama de agentes estressores.

Existem diversos modelos conceituais de sistemas fluviais na literatura, que descrevem seus componentes químicos, físicos e biológicos [Vannote *et al.* (1985); Forman (1999) e Ward *et al.* (2002)]. Estes modelos podem fornecer informações sobre como as características de pequenas bacias hidrográficas relacionam a sua condição com o impacto de estressores sobre eles.

Para este trabalho, as ideias de grande relevância são as que caracterizam os ecossistemas ribeirinhos como uma série de áreas hidrogeomorfológicas interligadas [Poole (2002)] e a relação destas áreas dinâmicas para a biodiversidade aquática [Ward *et al.* (2002)]. Cada vez mais, essas sínteses começaram a se mover para além do canal do córrego ou rio sozinho, para incorporar as ligações entre os aspectos hidráulicos e da paisagem através do qual fluem, reconhecendo assim aspectos longitudinais, os aspectos laterais e verticais da rede [Forman (1999); Ward *et al.* (2002) e Wiens (2002)]. Ainda falta, entretanto, o desenvolvimento de modelos conceituais e abordagens de avaliações que diretamente integram os córregos, as mata ciliares e componentes terrestres das bacias hidrográficas. Seguimos os métodos de Brooks *et al.* (2005) ao considerar áreas ribeirinhas como unidades de paisagem definidas que suportam biota característica e que respondem previsivelmente a um conjunto de fatores de perturbação antrópica, como por exemplo o desmatamento da zona ripária a construção de barragens e outras mudanças no canal.

O objetivo do presente artigo é descrever o desenvolvimento de um índice de monitoramento de ecossistemas fluviais que pode ser calculado em campo usando características como a análise visual, do estado hidromorfológica e ecológico, podendo ser complementados com análises de qualidade da água no escritório.

O índice é chamado 'IEF' de sua abreviatura em Português, Índice de Ecossistemas Fluviais, em inglês, "River Ecosystem Index".

MATERIAL E MÉTODOS

As métricas, utilizadas neste trabalho, foram elaboradas baseando-se nos seguintes protocolos já existentes: Stream Habitat Assessment (SHA) Jon Harding *et al.* (2009), Rapid Bioassessment Protocol (RBP), Barbour *et al.* (1999), e Riparian Quality Index (RQI) González del Tánago (2006), usado para avaliar condições da vegetação ripária e na lista de estressores que afetam córregos e ribeirinhas, desenvolvida por Brooks *et al.* (2005) e expandida neste trabalho.

Foi utilizado o Sistema de Informação Geográfica (SIG) para selecionar 40 locais de estudos para o desenvolvimento das métricas. Após, foram selecionados 19 pontos no rio Cará-Cará e 19 pontos no rio Quebra Perna. O rio Cará-Cará foi considerado como área degradada devido à forte influência de pressões antrópicas causadas pela agricultura e urbanização. Já o rio Quebra Perna foi considerado como local de referência tendo em vista que toda sua bacia se encontra dentro do Parque Estadual de Vila Velha que está protegido desde a sua criação em 1966. A obtenção dos dados estatísticos e de métricas da paisagem (ver Tabela 1) foram avaliados por meio do programa ArcView e Fragstats 3.3.

Para cada seção do protocolo de amostragem, foram identificadas e calculadas duas ou mais métricas, com intuito de escolher subconjuntos de métricas que refletissem tanto as condições do

canal como da vegetação ripária. Analisamos as correlações entre as variáveis e suas distribuições de frequência, bem como a distribuição de valores para os pontos impactados (rio Cará-Cará) em relação ao de referência (rio Quebra Perna).

Protocolos de Campo

O índice foi dividido em duas seções: 1) vegetação ripária e corredor e 2) qualidade do sistema e do canal.

Essas duas seções incluem aspectos ecológicos (vegetação ciliar e corredor) e aspectos hidrológicos de engenharia e morfológicos (sistema e qualidade de canal). Em cada local de amostragem foram analisados aspectos hidrológicos, qualidade do solo, vegetação, topografia e água. Os parâmetros foram medidos em 38 áreas de 100m x 100m.

Quadro 1 – Parâmetros analisados para caracterização das bacias hidrográficas e criação das métricas utilizadas na elaboração do índice.

Métricas avaliadas	Descrição	Parâmetros mínimos analisados
Integridade da vegetação ripária	Avaliação da qualidade e composição da vegetação ciliar	Percentual, composição e estrutura da vegetação ripária.
Continuidade longitudinal	Análise dos efeitos das atividades antrópicas na continuidade da vegetação ripária.	Efeitos das obras lineares, perpendiculares ou diagonais ao canal
Conectividade transversal e Cobertura da zona ripária.	Avaliação da conectividade transversal do corredor ripário e grau de fragmentação do habitat.	Efeitos das diversas atividades antrópicas.
Qualidade e estrutura da vegetação ripária	Efeito da vegetação ripária na qualidade do canal fluvial.	% de espécies exóticas e nativas e sua influência na estabilização das margens.
Regeneração da vegetação	Analisar as atividades humanas que impedem a regeneração da vegetação.	Efeitos de pesticidas e atividades agropecuárias.
Conectividade Vertical	Conectividade vertical entre o canal e a zona ripária de forma que permita a mobilidade de sedimentos e nutrientes.	Avaliação da conectividade vertical em mobilidade de sedimentos e nutrientes.
Condições das margens	Avaliação das condições físicas e de suporte das margens.	Efeitos da estabilidade das margens para o canal e vegetação.
Naturalidade do canal e substrato	Avaliação do grau de naturalidade do canal.	Avaliação dos efeitos de infraestrutura transversal e demais ações antrópicas.

Cada um dos componentes é dividido em subcomponentes, onde são descritos os atributos a serem avaliados. Por sua vez, cada subcomponente é formado por elementos, que são as variáveis a serem analisadas, no local de trabalho ou gabinete de acordo com a escala espacial da avaliação quadro 1.

Seções do IEF

Seção 1 - Vegetação ripária e corredor

A primeira seção é composta por cinco métricas que são: Integridade da Vegetação Ciliar; Continuidade longitudinal; Conectividade transversal e Cobertura da zona ripária; Qualidade e estrutura da vegetação ciliar e Regeneração da vegetação.

Essa seção foi estruturada para permitir avaliar o grau de perturbação existente na vegetação e corredor ripário, devido à sua grande importância para os rios. Dentro deste componente, foi avaliada a abundância e diversidade da vegetação ripária a um nível de mesoescala. Inicialmente foi feita uma estimativa da cobertura e da estrutura por fotointerpretação, posteriormente confirmada no campo.

No desenvolvimento das métricas foram estudadas a flora presente nos locais de estudo, além de espécies perenes e anuais que dependem das condições particulares de cada ano, com o objetivo de obter uma visão geral do estado da zona ribeirinha.

No estudo do corredor ciliar, foi avaliado o grau de fragmentação do corredor com os seus ecossistemas circundantes, bem como se o seu comprimento é suficiente para realizar as funções típicas de uma área ripária. Nesse item também avaliou-se as conectividades longitudinal, transversal e a extensão do corredor ripário.

Seção 2 - Qualidade do sistema e do canal

A seção 2 possui três métricas que são: Conectividade vertical; Condições das margens e Naturalidade do canal e substrato.

Nesta seção avalia-se a naturalidade do sistema e sua funcionalidade em macroescala. Por exemplo, eventos de cheias anuais podem ser avaliados com o uso de hidrogramas para identificar se o sistema permite e facilita a troca de energia e massa entre a área de mata ciliar e o rio, além de avaliar se o sistema mantém uma dinâmica fluvial de transporte de sedimentos para a manutenção das margens e da regeneração da vegetação ripária nativa.

Dentro deste componente é também considerada a existência de uma planície de inundação em que se pode realizar a dissipação de energia de inundações naturais.

Nessa seção também avalia-se a naturalidade do rio, as modificações no canal, a presença de ações antrópicas como barragens, diques, canalizações, entre outros. Essas estruturas podem causar grande interferência na flora e fauna aquática e terrestre devido a retenção da sedimentação, provocando erosão das margens e por sua consequência o assoreamento, quebra da conectividade horizontal e transversal, além do seu poder de acúmulo de nutrientes e poluentes [González del Tánago *et al.*, (2004)].

Para analisar as diferenças entre as duas bacias foi realizado o teste t de Student houve diferença significativa ($p > 0,05$) entre os pontos estudados, no entanto quando comparado os pontos de cada bacia entre si não houve diferença significativa ($p < 0,05$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para validação das métricas do índice foi realizado um estudo de caso na bacia do rio Cará-cará e Quebra Perna, ambos situados na cidade de Ponta Grossa, Paraná. Os rios são semelhantes entre si tanto em sua geologia como em aspectos hidrológicos (Figura 1). O rio Cará-Cará se encontra em uma bacia com intensa atividade agrícola, pecuária, industrial, além de possui três pequenos represamento para irrigação e sofrer com influência urbana. O rio Quebra Perna se encontra dentro do Parque Estadual de Vila Velha e toda sua bacia se encontra livre da influência de atividades antrópicas e urbanização.

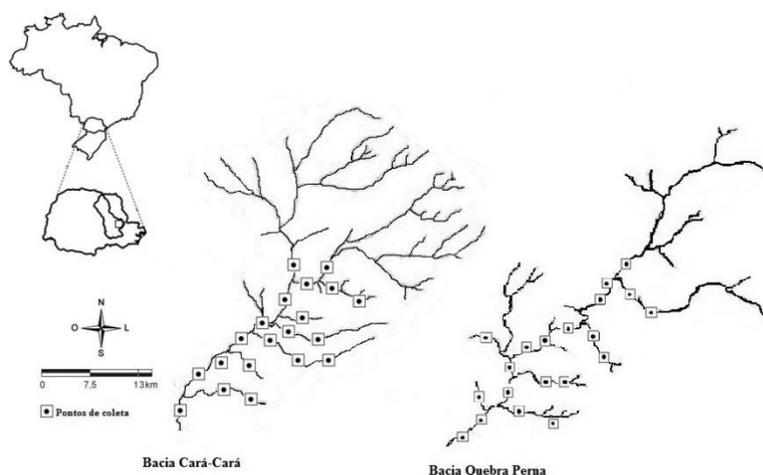


Figura 1 - Mapa das bacias estudadas com os pontos de coleta.

Em cada local de estudo foram aplicadas as métricas desenvolvidas e corrigidas quando necessário. Foram obtidos dados físicos, químicos e biológicos através de órgãos ambientais estaduais e federais quando disponíveis. A medida que os dados foram comparados observou-se uma diferença significativa em seus resultados principalmente por causa do tipo de uso do solo e grau de conservação (ver quadro 2).

A pontuação total do índice foi realizada somando os pontos obtidos em cada uma das duas seções, tendo uma pontuação máxima de 280 para a classe Muito bom. 54% dos pontos no rio Cará-cará obtiveram uma pontuação de 110 classificando-o como Pobre, já para o rio Quebra perna, a pontuação ficou em 62%, classificando como Bom (Quadro 2).

Foram encontradas diferenças significativas nos percentuais dos pontos observados para cada categoria de qualidade (Quadro 2). Os valores baixos foram encontrados, predominantemente a montante (Figura 1), mas também foram encontrados ocasionalmente a jusante independente das diferenças na composição da vegetação. Isso indica que IEF avalia a qualidade do habitat independente da composição florística em cada local.

Quadro 2: Resultado da avaliação dos pontos de estudo em porcentagem por classe utilizando o IEF em 40 locais de estudos, sendo 20 na bacia do rio Cará-cará (A) e 20 no Quebra perna (B).

Pontuação	Classe	Porcentagem (A)	Porcentagem (B)	Cor
280>	Muito bom	0	28	Verde
187 - 279	Bom	5	62	Azul
136 - 186	Moderado	12	7	Amarelo
93 - 135	Pobre	54	3	Cinza
30 - 92	Mau	13	0	Laranja
0 - 29	Muito mau	16	0	Vermelho

O índice se mostrou bastante eficiente sendo um método rápido e simples, permitindo uma avaliação primária eficaz, sendo ideal para gestores e pesquisadores que não possuem recursos para monitoramento de ecossistemas fluviais. Outra vantagem do índice é a possibilidade de avaliar todo o trecho do rio se diferenciando de muitos outros cuja avaliação ocorre de forma individual como Boon *et al*, (1998); Raven *et al*, (1998); Ladson *et al*,(1999); González del Tánago *et al.*, (2004). O índice IEF também pode ser utilizado em conjunto com outras métricas para obter uma medida do valor de qualidade integrada [Ladson *et al.*, (1999)]. Os Índices de qualidade devem ser abrangentes e cobrirem o maior número possível de variáveis estressoras [Karr, (1999)]. Nos pontos estudados,

o índice IEF mostrou-se independente de diferenças regionais na avaliação de comunidades ripárias, como mostrado a partir de uma comparação entre a análise TWINSpan das comunidades vegetais e os valores IEF, pois para aplicação do índice não é necessário identificar toda a vegetação ciliar ao nível de espécie, a fim de calcular o índice, mas o conhecimento das espécies nativa e exóticas tendo em vista que estes são utilizados para determinar o valor do IEF. O mesmo ocorre na avaliação da qualidade do canal, pois para calcular o IEF o usuário não precisa de grandes conhecimentos de engenharia, pois com conhecimentos da geografia da região e presença de estruturas no leito do rio o avaliador consegue calcular as métricas do índice.

O índice também vem sendo utilizado em programas de pesquisa e monitoramento no litoral norte do estado da Bahia (Bacia do rio Capivara Grande) [Aguiar, (2012a)] e outras bacias ao longo da costa de Portugal [Aguiar *et al.*, (2012)]. Em Portugal, o índice foi utilizado para avaliação Ribeira da Lage na cidade de Oeiras e seu resultado foi utilizado pela prefeitura local para elaboração de um plano de reabilitação do rio [Aguiar *et al.*, (2012)]. Os resultados do índice podem ser melhor utilizados se forem incorporados a ferramentas de SIG e de outros sistemas como por exemplo o InVEST.

CONCLUSÕES

O índice IEF tem como base a avaliação e monitoramento a fim de informar sobre as condições riparia (seção 1) e do canal (seção 2). O índice se mostrou bastante eficiente sendo um método rápido e simples, permitindo uma avaliação primária eficaz, sendo ideal para gestores e pesquisadores que não possuem recursos para monitoramento de ecossistemas fluviais. Outra vantagem do índice é a possibilidade de avaliar todo o trecho do rio.

Agradecimentos: O primeiro autor agradece ao CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela bolsa concedida.

REFERENCIAS

AGUIAR T J. (2012a). Aplicação do Índice de Ecossistemas Fluviais (IEF) na Bacia do rio Capivara grande. In *Anais do I Congress Restoration of Fluvial Processes*. Lisbon, PT, Mai, 1, p. 93-110.

AGUIAR T J. MIA DOCTO, CAROLYN DOEHRING, JESSIE OLSON. (2012b). Avaliação da qualidade fluvial da Ribeira da Lage. In *Anais do I Congress Restoration of Fluvial Processes*. Lisbon, PT, Mai, 2012, 1, pp. 141-152.

BARBOUR, M.T., J. GERRITSEN, B.D. SNYDER, AND J. B. STRIBLING. (1999). Rapid bioassessment protocols or use in streams and wadeable rivers: periphyton, benthic macroinvertebrates and fish, 2nd ed. *Scout Report for Science & Engineering*, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington, DC.

BOON PJ, WILKINSON J, MARTIN J. (1998). The application of SERCON (System for Evaluating Rivers for Conservation) to a selection of rivers in Britain. *Aquatic Conservation, Marine and Freshwater Ecosystems*, 8 (4), p.597-616.

BROOKS, R. P., C. SYNDER, AND M. M. BRINSON. (2005). Conceptual model of tributary watersheds with associated wetlands and riparian areas. In *Anais do the Vital Sign Workshop*, 19-20 May 2005, Eastern Rivers and Mountains Network, National Park Service, State College, PA. p. 110-130.

- BROWN, M.T. AND M. B. VIVAS. (2005). Landscape development intensity index. *Environmental Monitoring and Assessment*, 101 (3), p. 289–309.
- FORMAN, R. T. T. (1999). Land Mosaics. The ecology of landscapes and regions. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 632 pp.
- GONZÁLEZ DEL TÁNAGO, M., D. GARCÍA DE JALÓN, F. LARA & R. GARILLETI. (2006). Índice RQI para la valoración de las riberas fluviales en el contexto de la Directiva Marco del Agua. *Ingeniería Civil, Limnetica*, 143 (2), p. 97-108.
- JON HARDING, JOANNE CLAPCOTT, JOHN QUINN, JOHN HAYES, MIKE JOY, RICHARD STOREY, HAMISH GREIG, JOE HAY, TREVOR JAMES, MARY BEECH, RACHAEL OZANE, ADRIAN MEREDITH, IAN BOOTHROYD. (2009). Stream Habitat Assessment Protocols for wadeable rivers and streams of New Zealand. School of Biological Sciences, University of Canterbury. New Zealand, 136p.
- KARR JR. (1999). Defining and measuring river health. *Freshwater Biology*, 41 (2), p. 221–234.
- LADSON AR, WHITE LJ, DOOLAN JA, FINLAYSON BL, HART BT, LAKE PS, TILLEARD JW. (1999). Development and testing of an Index of Stream Condition for waterway management in Australia. *Freshwater Biology*, 41 (2), p. 453–468.
- POOLE, G. C. (2002). Fluvial landscape ecology: addressing uniqueness within the river discontinuu. *Freshwater Biology*, 47 (4), p. 641–660.
- RAVEN PJ, BOON PJ, DAWSON FH, FERGUSON AJD. (1998). Towards an integrated approach to classifying and evaluating rivers in the UK. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 8 (4), p. 383–393.
- VANNOTE, R. L., G. W. MINSHALL, K. W. CUMMINS, J. R. SEDELL, AND C. E. CUSHING. (1980). The river continuum concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 37 (1), p. 130-137.
- WARD, J. V., K. TOCKNER D. B. ARSCOTT & C. Claret. (2002). Riverine landscape diversity. *Freshwater Biology*, 47 (4), p. 517–539.
- WIENS, J. A. 2002. Riverine landscapes: taking landscape ecology in the water. *Freshwater Biology*, 47 (4), p.501-515.