

Proposta de modelo fuzzy para avaliação da conservação ambiental de riachos urbanos

Fuzzy model proposal for environmental conservation assessment of urban streams

• **Data de entrada:**
12/09/2019

• **Data de aprovação:**
12/08/2020

José Luís Said Cometti^{1*} | Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral¹ | Helano Povoas de Lima²

DOI: <https://doi.org/10.36659/dae.2022.008>

ORCID ID

Cometti  <https://orcid.org/0000-0003-4193-3125>

Cabral JJSP  <https://orcid.org/0000-0002-1348-8004>

Resumo

A fim de consolidar o processo de diagnóstico dos cursos d'água urbanos no Brasil, este artigo propõe o Índice de Conservação Ambiental de Riachos Urbanos (ÍCARU). Esse índice foi construído a partir de indicadores de Pressão-Estado-Resposta (PER), integrados pela lógica fuzzy. Indicadores, definição de regras difusas e validação de cenários foram obtidos por meio de pesquisa survey e workshops com uma equipe multidisciplinar de especialistas. Um Sistema Baseado em Regras Difusas (SBRD) foi desenvolvido por meio da ferramenta FuzzyGen para cada atributo, dimensão e índice geral. O SBRD é composto por um banco de dados de conhecimento, regras e o mecanismo de inferência. Os resultados são apresentados na forma de gráfico de radar, mostrando o valor individual (0-10) de cada dimensão PER e o ÍCARU, em gráfico de centro de gravidade. Os testes mostraram a viabilidade e usabilidade do modelo, que pode ser uma ferramenta de monitoramento de riachos urbanos e apoio a decisão.

Palavras-chave: Lógica fuzzy. Indicadores. Pressão-Estado-Resposta. ÍCARU.

Abstract

The objective of this study is to propose a model of environmental diagnosis of urban streams in Brazil through the Urban Rivers Environmental Conservation Index (URECI). This index was built from Pressure-State-Response (PER) indicators, integrated by the fuzzy logic method. Indicators, definitions of fuzzy rules and scenario validation were used through surveys and workshops with a multidisciplinary team of experts. A Fuzzy Rule-Based System (SBRD) was developed using the FuzzyGen tool for each attribute, dimension, and the overall index. The SBRD consists of a knowledge database, rules, and inference engine. Results are presented in radar graph form, showing the individual value (0-10) of each PER and ICARU dimension in the center of gravity graph. The tests presented on the feasibility and use of the model can be a tool for monitoring urban streams and decision support.

Keywords: Fuzzy logic. Indicators. Pressure-State-Response. ÍCARU.

¹ Universidade Federal de Pernambuco - Recife - Pernambuco - Brasil.

² Embrapa Informática Agropecuária - Campinas - São Paulo - Brasil.

* **Autor correspondente:** jlscometti@yahoo.com.

1 INTRODUÇÃO

Promover a conservação ambiental significa efetuar o manejo no uso dos recursos do meio ambiente, de modo a manter estáveis os sistemas naturais (BENNETT, 2016). De acordo com Taylor (2016), na corrente ideológica do conservacionismo, surgido no século XIX, o homem deve usar os recursos naturais de forma racional, a fim de manter seu potencial de atender às aspirações das futuras gerações e a sobrevivência de todos os seres vivos. Sob essa ótica, os rios e riachos urbanos, em várias cidades do mundo, estão recebendo estruturas que contribuem para drenagem urbana e para o lazer da população, em parques às suas margens. (BERNHARDT e PALMER, 2007; FRISCHENBRUDER e PELLEGRINO, 2006; MARTINEZ, 2016; WHOL, ANGEMEIER e KONDOLF, 2005).

O Urban River Basin Enhancement Methods (URBEM), financiado pela União Europeia, desenvolveu ferramentas para avaliar o potencial de melhoria e reabilitação de cursos d'água urbanos submetidos a projetos de intervenção, baseado em 91 indicadores (URBEM, 2004). Alguns trabalhos sugerem a avaliação da saúde dos rios urbanos por meio da integridade biótica ou da qualidade da água ou por índices compostos por um conjunto de indicadores ambientais, econômicos e sociais (DENG et al., 2014; LADSON, 1999; POMPÊO, RIGOTTI e FREITAS, 2011; TUCCI, 2017; ZHANG et al., 2019).

Apesar da disponibilidade de uma longa lista de indicadores ambientais, econômicos e sociais, ainda existem muitas limitações para implementar uma metodologia para avaliar a situação de riachos urbanos no Brasil, principalmente devido à indisponibilidade de dados. Outra dificuldade consiste no estabelecimento de um score, já que são ecossistemas que integram o ambiente natural, construído e social (SINGH e SAXENA, 2017; ZHANG et al., 2019). Portanto, é preciso desenvolver modelos que consigam ser eficazes

em simplificar sistemas complexos a fim de facilitar o seu entendimento e subsidiar a tomada de decisões.

Nesse contexto, a lógica Fuzzy pode oferecer um método adequado, de fácil implementação e que contribui para o conhecimento sobre questões ambientais complexas (BARROS, BASSANEZI e LODWICK, 2017; SALES, GOMES e SOUZA, 2014; SANTOS et al., 2017; ZHANG et al., 2019). Essa técnica nos permite codificar softwares que representem algoritmos mais próximos da forma como funciona o raciocínio humano, obtendo resultados satisfatórios, uma vez que valores limítrofes e incertezas do modelo não são ignorados. Para os sistemas difusos, diferentemente do sistema booleano, um elemento pode pertencer parcialmente a diferentes conjuntos. Isso permite o gerenciamento de incertezas e informações vagas (ZIMMERMANN, 2011).

Dessa maneira, este trabalho propõe uma metodologia para formulação do Índice de Conservação Ambiental de Riachos Urbanos (ÍCARU), baseado em regras difusas, numa tentativa de consolidar de maneira mais efetiva o processo de diagnóstico da situação dos cursos d'água urbanos no Brasil. Para tanto, faz-se necessário o uso de indicadores cujos parâmetros tenham sido avaliados por especialistas, para fornecimento do ÍCARU. Esse índice será fundamental para avaliar a condição atual, refletir sobre possíveis cenários de revitalização e monitorar o impacto das intervenções em riachos urbanos, levando, dessa forma, o poder público e a sociedade a direcionar ações para a conservação dos riachos urbanos.

2 METODOLOGIA

2.1 Seleção de Indicadores

A seleção prévia de indicadores partiu de uma extensa revisão bibliográfica e teve como referência a publicação do URBEM que define 41

indicadores ambientais, 43 sociais e sete econômicos para avaliação de projetos de intervenção em cursos d'água urbanos (URBEM, 2004). Os critérios de seleção foram baseados em Böhringer & Jochem (2007), sendo eles: simplicidade e clareza, disponibilidade do dado, baixo custo de obtenção e facilidade de aplicação.

Foram pré-selecionados 15 indicadores e foi construído um questionário Survey (PINSONNE-AULT e KRAEMER, 1993) para avaliar o grau de importância de cada um para compor o ÍCARU. O questionário solicitava ao participante que classificasse o parâmetro em grau de importância em uma escala Likert de 1 a 5 (JOSHI et al., 2015). Também continha um espaço aberto para observações, conforme recomenda Kayo & Securato (1997). O questionário foi desenvolvido utilizando a ferramenta Google Forms e enviado para especialistas em cursos d'água urbanos com publicações na área. Para validação das respostas, foi submetido o teste de confiabilidade de Alfa de Cronbach (CRONBACH & SHAVELSON, 2004).

Foram selecionados os indicadores avaliados como importante ou muito importante ou sugeridos por mais de 70% dos especialistas. Os indicadores foram agrupados de acordo com o sistema Pressão-Estado-Resposta (PER), sugerido pela Organization for Economic Cooperation and Development (OECD) para indicadores ambientais (OECD, 2003). Em que 'Pressão' diz respeito às atividades e processos urbanos que produzem mudanças ambientais; 'Estado' refere-se à condição ou qualidade do ambiente; e 'Resposta' são as ações desenvolvidas pela sociedade para prevenir, mitigar ou recuperar o meio afetado. O sistema PER tem sido utilizado em trabalhos com

rios urbanos, sendo amplamente recomendado (HUDON, JEAN e LÉTOURNEAU, 2018; ZHANG et al., 2019).

2.2 Controlador Fuzzy

Após a validação dos parâmetros que serão utilizados na composição do ÍCARU, a próxima etapa foi o desenvolvimento do Sistema Baseado em Regras Difusas (SBRD) ou controlador Fuzzy. Esse método foi escolhido por conseguir tratar informações qualitativas de forma rigorosa e exata, a partir do conhecimento de especialistas. O método se apoia em três passos principais: fuzificação, inferência e defuzificação (BARROS, BASSANEZI E LODWICK, 2017; GOLDSCHMIDT, 2010; ZIMMERMANN, 2011).

1) Fuzificação - É o processo que transforma um dado numérico (crisp) em conjuntos Fuzzy. Do ponto de vista matemático, um conjunto Fuzzy pode ser definido como segue. Seja $X = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$ um conjunto qualquer de números. Um conjunto \tilde{A} é chamado conjunto Fuzzy quando satisfaz a seguinte definição (Eq. 1):

$$\tilde{A} = \{(x, \mu_{\tilde{A}}(x)) : x \in [0,1]\} \quad (1)$$

Onde:

$\mu_{\tilde{A}}(x)$ é conhecida como a função pertinência de cada elemento x no conjunto \tilde{A} atribuindo valores de 0 a 1.

A união e a interseção entre dois conjuntos \tilde{A} e \tilde{B} , bem como o complemento de \tilde{A} , são definidas como segue (Eq. 2, 3 e 4).

$$\forall \tilde{A}, \tilde{B} \subseteq X \quad \mu_{\tilde{A} \cup \tilde{B}}(x) = \max(\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x)); \quad (2)$$

$$\forall \tilde{A}, \tilde{B} \subseteq X \quad \mu_{\tilde{A} \cap \tilde{B}}(x) = \min(\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x)); \quad (3)$$

$$\forall \tilde{A} \subseteq X \quad \mu_{\tilde{A}^c}(x) = 1 - \mu_{\tilde{A}}(x). \quad (4)$$

Onde \tilde{A}^c é o complemento de \tilde{A} .

Define-se corte de nível h de um conjunto difuso, ao subconjunto difuso definido por (Eq. 5):

$$\tilde{A}(h) = \{x; (\mu_{\tilde{A}}(x) \geq h) : x \in X; h \in [0,1]\} \quad (5)$$

Onde h representa o grau de pertinência ao intervalo $[0,1]$.

Nesta etapa foi feito um escalonamento para condicionar os valores a universos de discurso

normalizados e fuzifica os valores, transformando números em conjuntos fuzzy, de modo que possam se tornar instâncias de variáveis linguísticas. Um conjunto fuzzy foi definido para cada indicador, expresso em termos linguísticos. Para os indicadores de pressão, os termos linguísticos foram: “muito baixo”, “baixo”, “médio”, “alto” e “muito alto”. Para os de estado: “éssimo”, “ruim”, “regular”, “bom” e “ótimo”. E para resposta: “adequado”, “aceitável” e “inadequado”. Por exemplo: Se o valor de entrada do Índice de Qualidade de Água for igual a 18, o grau de pertinência é 0,25 ao “ruim” e 0,75 ao “péssimo”. Esse processo pode ser visualizado na Fig. 1:

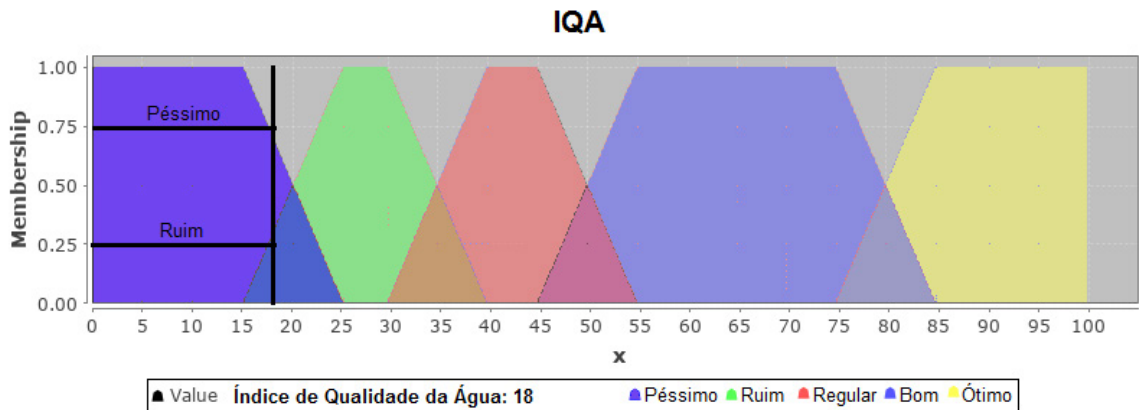


Figura 1 - Processo de fuzificação, obtido como o exemplo de valores do Índice de Qualidade de Água.

2) Inferência - Cada proposição fuzzy foi traduzida matematicamente por meio das técnicas da lógica Fuzzy. A base de regras foi estabelecida previamente, com um grupo de especialistas caracterizando a estratégia de controle e suas metas. A base de dados armazena as definições necessárias sobre discretização e normalização dos universos de discurso, as partições fuzzy dos espaços de entrada e saída e as definições das funções de pertinência. Um exemplo de regra fuzzy é: “Se PRESSÃO é BAIXA, ESTADO é ÓTIMO e RESPOSTA é ADEQUADO, então ÍCARU é ÓTIMO”.

A normalização dos valores dos indicadores é necessária para obter uma escala comum e facilitar a computação fuzzy no final. Considere v_i como sendo o valor do indicador i , e “min(s)” e “max(s)” como sendo, respectivamente, os valores mínimos e máximos desse indicador; então o valor “normalizado” $N(v_i)$ e calculado da seguinte forma:

Se o valor alvo $T(v_i)$ corresponde a um máximo (Eq.6):

$$N(v_i) = \left[\begin{array}{l} \frac{v_i - \min(s)}{T(v_i) - \min(s)} \text{ para } v_i \leq T(v_i) \text{ e} \\ 1 \text{ para } v_i \geq T(v_i) \end{array} \right] \quad (6)$$

Se o valor alvo $T(v_i)$ corresponde a um mínimo (Eq. 7):

$$N(v_i) = \left[\begin{array}{l} 1 \text{ para } v_i \leq T(v_i), \text{ e} \\ \frac{\max(s) - v_i}{\max(s) - T(v_i)} \text{ para } v_i \geq T(v_i) \end{array} \right] \quad (7)$$

Se $T(v_i)$ corresponde ao intervalo $[\min(T_v), \max(T_v)]$ (Eq. 8):

$$N(v_i) = \left[\begin{array}{l} \frac{v_i - \min(s)}{\min T(v_i) - \min(s)} \text{ para } v_i \leq \min T(v_i), \\ \frac{\max(s) - v_i}{\max(s) - \max T(v_i)} \text{ para } v_i \geq \max T(v_i) \end{array} \right] \quad (8)$$

3) Defuzificação - Consiste em transformar as ações de controle fuzzy inferidas em ações de controle não-fuzzy. Para isso, efetuou-se um escalamento, de modo a compatibilizar os valores normalizados (crisp) vindos da etapa anterior com os valores dos universos de discurso reais das variáveis. A resposta se traduz no ÍCARU, que é um valor real. Para isso, foi adotado o método de centro de gravidade. Esse método transforma a saída fuzzy em saída discreta encontrando a média aritmética entre os centros de gravidade dos conjuntos fuzzy aos quais o elemento pertence, ponderados pelo grau de pertinência, conforme Eq. 9:

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^k \mu_i \cdot Y_i}{\sum_{i=1}^k \mu_i} \quad (9)$$

onde: Y é a saída discreta; k é a quantidade de conjuntos fuzzy a que o elemento pertence; μ_i é o grau de pertinência com que o elemento per-

tence ao i -ésimo conjunto Fuzzy; Y_i é o centro de gravidade do i -ésimo conjunto fuzzy a que o elemento pertence.

O controlador fuzzy funciona conforme as três etapas descritas anteriormente de fuzificação, inferência e defuzificação. Primeiramente, na inferência são mapeados os conjuntos fuzzy e é determinado como as regras são ativadas e combinadas, baseadas nas informações fornecidas por especialistas ou extraídas de dados numéricos. Os dados são inseridos no controlador e ativados na fuzificação, gerando os conjuntos fuzzy de entrada; posteriormente, esses conjuntos são defuzificados para fornecer a saída de informações precisas.

A base de regras foi estabelecida com base na pesquisa bibliográfica e com um grupo mais restrito de especialistas. Cada regra fuzzy definida é composta por uma estrutura do tipo SE e ENTÃO. Onde o SE corresponde por uma parte antecedente e o ENTÃO pela parte consequente. Posteriormente, foi ponderado, também com os

especialistas, o grau de condição para que a regra seja satisfeita. Na regra fuzzy, esta condição é elástica. O número de regras R para as três ou cinco variáveis é dada por $R = V^n$, uma vez que temos n indicadores gerais que determinam cada variável e três ou cinco valores linguísticos.

O SBDR foi desenvolvido com o método de inferência Mamdani. De acordo com Goldschmidt (2010), o método Mamdani tem como base a regra de composição de inferência max-min e propõe uma relação fuzzy binária para modelar matematicamente a base de regras. Por exemplo: Se x é A e y é B , então z é C , onde A , B e C são conjuntos fuzzy.

O SBDR foi construído com base no trabalho de Santos et al., (2017), que estabeleceram um Índice de Sustentabilidade para Fazendas Pantaneiras. Foi adotado o software FuzzyGen para ajudar na modelagem e construir o SBDR (LIMA et al., 2009). O software foi desenvolvido na linguagem de programação Java e fornece uma interface amigável para definir as partes essenciais de um SBDR (CINGOLANI e ALCALÁ-FDEZ, 2012), que permite aos usuários mensurar o ÍCARU para um riacho urbano ou realizar simulações e construir cenários.

Foram feitas no SBDR simulações abrangentes de cenários de riachos urbanos para ajustar o modelo fuzzy criado. Esse processo passou pela avaliação dos mesmos especialistas que estabeleceram a base de regras. Coeficientes de correlação foram aplicados para avaliar a confiabilidade e a validade dos modelos em relação aos dados.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Indicadores

Foram recebidas 52 respostas ao questionário aplicado com especialistas em rios urbanos de diversas áreas de conhecimento e atuação profissional (Fig. 2a e 2b). A confiabilidade do questionário apresentou um coeficiente Alfa de Cronbach de 0,76, considerado como nível aceitável. O desvio padrão médio das respostas foi de 0,75, considerando a escala atribuída de 1 a 5. Os nove indicadores selecionados e classificados no sistema PER podem ser visualizados na Fig. 3. A Tabela 1 apresenta características dos indicadores, necessárias para o desenvolvimento do controlador fuzzy e cálculo do ÍCARU.

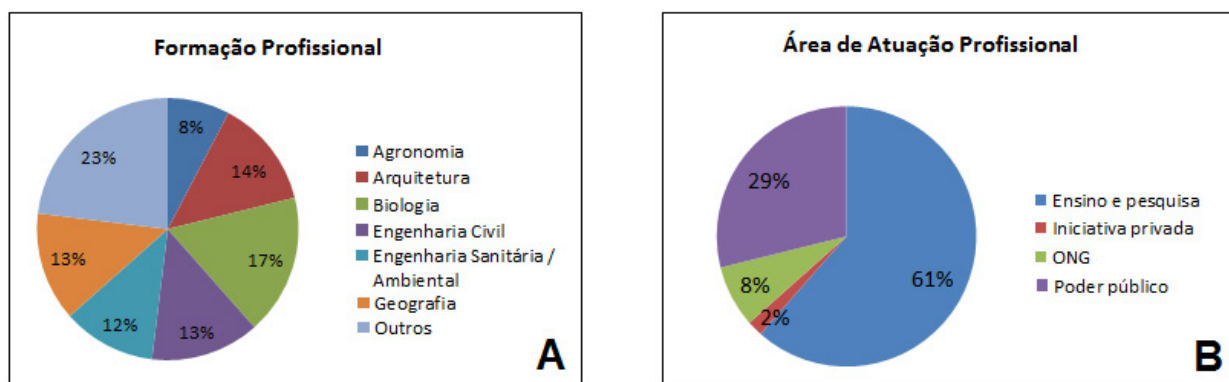


Figura 2a e 2b - Formação e área de atuação profissional dos participantes da pesquisa survey.

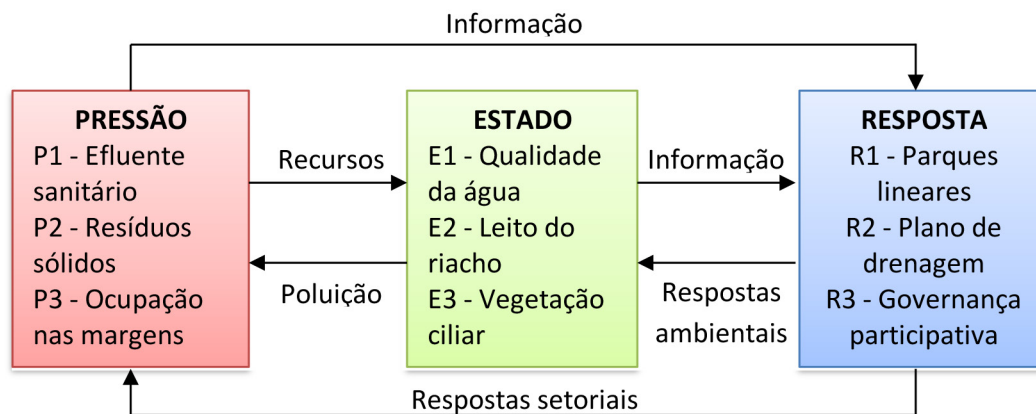


Figura 3 - Indicadores agrupados no sistema Pressão-Estado-Resposta para compor o ICARU.

O conceito de conservação ambiental de riachos urbanos é um conceito relativo, difuso e dinâmico, que pode variar de acordo com os interesses da sociedade. Os indicadores selecionados para a dimensão “pressão” estão relacionados à intensidade de descarga de poluentes no riacho e o impacto sofrido pela urbanização. Para “estado”, foram selecionados um indicador químico, um físico e um biológico. E na “resposta”, ações da sociedade que diminuem as pressões e melhoram o estado ecológico de um riacho urbano. Alguns desses indicadores selecionados também foram utilizados por ZHANG et al. (2019), em um sistema PER para o um rio urbano na China.

P1 - Efluente sanitário: O lançamento de esgoto sanitário sem tratamento é apontado como um dos principais fatores de degradação dos recursos hídricos urbanos (WALSH et al., 2005). No Brasil, apenas 58% do esgoto é coletado, e destes, 73,69% é tratado (SNIS, 2018). A matéria orgânica lançada nos cursos d’água consome o oxigênio dissolvido, inviabilizando a vida aeróbia, ocasiona outros problemas, como a eutrofização, a sedimentação de lodo e a contaminação por microrganismos patogênicos presentes nas fezes humanas.

P2 - Resíduos Sólidos: Quando os serviços de coleta de resíduos sólidos urbanos não são eficientes, aliado à baixa consciência ambiental da população, os cursos d’água urbanos acabam sendo utilizados como meio de disposição final. Os resí-

duos se acumulam nas margens ou no fundo dos rios e córregos, impedem o fluxo da água e contribuem para o aumento das enchentes e inundações (TUCCI, 2015). Também podem contaminar a água e peixes com metais pesados oriundos de pilhas e lâmpadas (BERNHOF, 2012).

P3 - Ocupação nas Margens ou Sobre o Riacho:

Os cursos d’água naturais apresentam as características de continuidade dos escoamentos e de conectividade de habitats. A conexão lateral, gerada pela inundação, produz uma troca de água, sedimentos, nutrientes e organismos fundamentais para a integridade de ecossistemas fluviais. Por outro lado, as águas, ao extravasarem, dissipam energia cinética na planície de inundação, efetuando um trabalho de remodelação dos sedimentos e da vegetação existente nas zonas inundadas (THOMS, 2003; GONZÁLEZ DEL TÁNAGO e GARCÍA DE JALÓN, 2007). As ocupações edificadas, dos mais variados usos, nas margens dos riachos, ou até mesmo sob o seu leito, e infraestrutura viária impactam negativamente a conectividade lateral.

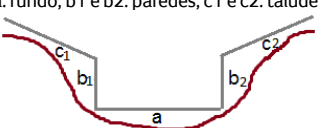
E1 - Índice de Qualidade da Água: O Índice de

Qualidade de Água - IQA incorpora nove parâmetros (OD, coliformes, pH, DBO, temperatura, nitrogênio, turbidez e sólidos dissolvidos) e pesos específicos considerados relevantes para a avaliação da qualidade das águas (VON SPERLING, 2007). Alguns especialistas apontaram limitações do uso

do IQA como, por exemplo, os backgrounds regionais. Entretanto, o uso do IQA é uma tentativa prevista por programas de monitoramento de águas superficiais de vários órgãos ambientais brasileiros, como forma de acompanhar, por meio de in-

formações resumidas, a possível deterioração dos recursos hídricos ao longo da bacia hidrográfica ou ao longo do tempo e fornece resultados de fácil interpretação (COSTA et al., 2012; ZSCHORNACK e OLIVEIRA, 2018).

Tabela 1 - Características dos indicadores que compõem o Índice de Conservação Ambiental de Riachos Urbanos.

Dimensão	Indicador	Unidade de Medida	Fórmula de Cálculo	Variável Fuzzy	Referência
Pressão	P1- Efluente Sanitário	%	$CTE = \left(\frac{Col \times Trat}{100} \right)$ Onde: CTE: % de coleta e tratamento de esgoto sanitário na área de drenagem do trecho do riacho ou do município. Col: % de coleta de esgoto. Trat: % de tratamento de esgoto sanitário em relação ao coletado.	CTE = 100 = muito baixa 100 < CTE ≤ 98 = baixa 98 < CTE ≤ 90 = média 90 < CTE ≤ 40 = alta 40 < CTE = muito alta Baseado no ranking ABES da universalização do saneamento (ABES, 2019).	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) ou outra fonte oficial.
	P2- Resíduos Sólidos	%	$CDRS = \left(\frac{Col \times Dest}{100} \right)$ Onde: CDRS: % de Coleta e tratamento de resíduos sólidos na área de drenagem do trecho do riacho ou do município. Col: % de coleta de resíduos sólidos Dest: % de destinação final adequada de resíduos sólidos em relação ao coletado.	CTRS = 100 = muito baixa 100 < CTRS ≤ 98 = baixa 98 < CTRS ≤ 90 = média 90 < CTRS ≤ 40 = alta 40 < CTRS = muito alta Baseado no ranking ABES da universalização do saneamento (ABES, 2019).	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) ou outra fonte oficial.
	P3- Ocupação nas margens	%	$OM = \left(\frac{Aocup}{Atotal} \right) \times 100$ Onde: OM: % de ocupação nas margens ou sobre o riacho. Aocup: Área ocupada na faixa de Área de Preservação Permanente (APP) ou sobre o riacho. Atotal: Área total da faixa de APP.	OM ≤ 10 = muito baixa 20 ≤ OM < 11 = baixa 40 ≤ OM < 21 = média 60 ≤ OM < 41 = alta OM < 61 = Muito alta Baseado nos estudos de Bjorkland, Pringle e Newton (2001).	Obtido por meio da análise de fotografias aéreas, utilizando-se de ferramentas de geoprocessamento para se obter a área total de APP e a área do parque linear dentro desta faixa.
Estado	E1- Qualidade da água	Escala de 0 a 100	$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i}$ onde: IQA: Índice de Qualidade de Água qi: qualidade do i-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 100. wi: peso correspondente ao i-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 1, n: número de variáveis que entram no cálculo.	79 < IQA ≤ 100 = ótimo 51 < IQA ≤ 79 = bom 36 < IQA ≤ 51 = regular 19 < IQA ≤ 36 = ruim IQA ≤ 19 = péssimo Baseado em Von Sperling, (2014).	Obtido por meio de análises laboratoriais seguindo o SWMM, publicações científicas ou dados de órgãos de controle ambiental.
	E2 - Leito do riacho	Escala de 0 a 25	Onde: $PLR = (a + b1 + b2 + c1 + c2)$ PLR: Permeabilidade do leito do riacho a: fundo; b1 e b2: paredes; c1 e c2: taludes  Para o fundo e paredes: 0 - Revestimento impermeável com secção fechada. 1 - Revestimento impermeável com secção aberta. 2 - Revestimento permeável. 5 - Natural Para o talude: 0 - Revestimento impermeável. 2 - Revestimento permeável. 3 - Natural sem vegetação. 5 - Natural com vegetação.	22 < Rev ≤ 25 = ótimo 16 < Rev ≤ 21 = bom 11 < Rev ≤ 15 = regular 5 < Rev ≤ 10 = ruim Rev ≤ 4 = péssimo Baseado nos estudos de Hannaford, Barbour e Resh (1997).	Os dados de revestimentos podem ser obtidos via dados oficiais da prefeitura, ou observados por meio de imagens ou em vistorias de campo.

continua...

Tabela 1 - Continuação...

Dimensão	Indicador	Unidade de Medida	Fórmula de Cálculo	Variável Fuzzy	Referência
Estado	E3 - Vegetação ciliar	%	$CV = \left(\frac{Acv}{At} \right) \times 100$ <p>Onde: CV: % de cobertura vegetal arbustiva e arbórea na faixa de APP do trecho do riacho. Acv: área de cobertura vegetal arbustiva e arbórea na faixa de APP do trecho do riacho. At: área total da faixa de APP do trecho do riacho.</p>	90 < CV ≤ 100 = ótimo 70 < CV ≤ 89 = bom 50 < %Veg ≤ 69 = regular 30 < %Veg ≤ 49 = ruim %Veg ≤ 30 = péssimo Baseado nos estudos de Bjorkland, Pringle e Newton (2001); Hannaford, Barbour e Resh (1997).	Obtido por meio da análise de fotografias aéreas, utilizando-se de ferramentas de geoprocessamento para se obter a área total de APP e a área do parque linear dentro desta faixa.
Resposta	R1 - Parques lineares	%	$PL = \left(\frac{Apl}{At} \right) \times 100$ <p>Onde: PL: % de área com parque linear*. Apl: área com parque linear na faixa de APP do trecho do riacho. At: área total da faixa de APP do trecho do riacho.</p>	90 < %PL ≤ 100 = Adequado 60 < %PL ≤ 89 = Aceitável %PL ≤ 59 = Inadequado Validado com especialistas.	Obtido por meio da análise de fotografias aéreas, utilizando-se de ferramentas de geoprocessamento para se obter a área total de APP e a área do parque linear dentro desta faixa.
	R2 - Plano de drenagem	Conceito	Medidas consideradas sustentáveis: Escala do lote: telhado verde; telhado para captação e armazenamento de águas pluviais; % de área permeável. Espaços públicos: pavimentos permeáveis; poços e trincheiras de infiltração; jardins de chuva. Infraestrutura urbana: bacias de retenção; bacias de detenção; valas de infiltração; tratamento de águas pluviais; canais naturais; sistemas de previsão e alerta de inundações.	Adequado: O plano deve conter pelo menos duas medidas estruturais ou não estruturais nas três escalas: lotes, espaços públicos e infraestrutura urbana. Aceitável: O plano deve conter pelo menos uma medida estrutural ou não estrutural nas três escalas: lotes, espaços públicos e infraestrutura urbana. Inadequado: Não contém medidas estruturais ou não estruturais nas três escalas: lotes, espaços públicos e infraestrutura urbana. Validado com especialistas.	Análise do das medidas consideradas sustentáveis no Plano de Drenagem Urbana ou Plano Diretor do município, instituído por instrumento legal.
	R3 - Governança participativa	Conceito	Instrumentos de participação na Governança: Definição de papéis e responsabilidades de atores sociais; Qualificação da comunidade para processos de decisão; Consulta pública; Audiência pública; Conselhos consultivos; Comitês de bacia; Transparência e publicidade das ações; e Educação ambiental Fonte: Oliveira e Pisa (2015); Pires (2011); Jacobi (2012); Empinotti, Jacobi e Francalanza (2016); OECD (2015)	Adequado: São desenvolvidos seis ou mais instrumentos de governança para o riacho urbano. Aceitável: São desenvolvidos entre 3 e 5 instrumentos de governança para o riacho urbano. Inadequado: São desenvolvidos dois ou menos instrumentos de governança para o riacho urbano. Validado com especialistas.	Análise dos instrumentos de governança participativa nas políticas públicas e projetos voltados para a gestão e conservação dos cursos hídricos urbanos.

Fonte: elaborado pelo autor.

E2 - Permeabilidade do Leito do Riacho: a drenagem tradicional tem transformado os cursos d'água urbanos em grandes galerias de escoamento das águas pluviais. A impermeabilização do canal fluvial ocasiona grandes perdas para o rio, principalmente por impossibilitar a troca en-

tre as águas superficiais e subterrâneas (TUCCI, 2015). Em épocas de cheias, o rio alimenta o lençol freático, e na seca ocorre o inverso. A impermeabilização com revestimentos lisos aumenta a velocidade de escoamento das águas e provoca erosões a jusante (CARVALHO, SILVA E CABRAL,

2017). Também afeta a biota, pois a ocorrência natural de seixos rolados é responsável pela manutenção do ciclo vital de espécies, principalmente da fauna bentônica. A ausência de rugosidade também diminui o movimento turbulento e a oxigenação da água (BINDER, 1998). Esse indicador é composto por três parâmetros: o revestimento do fundo e das paredes do canal fluvial (leito menor) e dos taludes (leito maior).

E3 - Vegetação ciliar: A vegetação ciliar tem um importante papel ecológico e hidrológico para os cursos d'água. Dentre as funções ecológicas está o hábitat da fauna terrestre e aquática, produção de alimentos, cobertura e proteção térmica para peixes e outros animais. Em relação às suas funções hidrológicas, a vegetação retarda o escoamento superficial, promove a estabilidade das margens e mantém nascentes. Além disso, a mata ciliar ainda melhora a qualidade da água por meio da filtragem e da retenção de sedimentos e processos de absorção de nutrientes pelas raízes (KAGEYAMA e GANDARA, 2001; LAFORTEZZA, 2013).

R1 - Parques lineares: Parques lineares, ou *greenways*, são intervenções urbanísticas construídas ao longo de cursos d'água, projetados e gerenciados com múltiplos objetivos, entre eles ecológicos, estruturais, recreativos, culturais e estéticos, compatíveis com o uso sustentável do solo. Tais espaços são capazes de conectar áreas verdes e pessoas, proteger e recuperar o ecossistema, controlar enchentes, abrigar práticas de lazer, esporte e cultura, além de contribuir com alternativas não motorizadas de mobilidade urbana (KONDOLF e PINTO, 2017; SOARES, BONZI e OLIVEIRA, 2012; MARTINEZ, 2016). O parque linear tem sido apontado como um instrumento essencial para integração da paisagem urbana com os cursos d'água. Eles permitem uma interação maior das pessoas com os rios e riachos, promovendo o sentimento de zelo (MACEDO & MAGALHÃES, 2011; ÖZGÜNER et al., 2012). Pro-

jetos de revitalização de rios com áreas de recreação tiveram mais sucesso na Austrália (FINDLAY & TAYLOR, 2006).

R2 - Plano de Drenagem Urbana Sustentável: Os Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentável (SUDS) visam a reduzir o impacto da impermeabilização solo nas cidades sobre os hidrogramas de cheias (ROY et al., 2008). Poços de infiltração, trincheiras de infiltração, jardins de chuva, pavimentos permeáveis, bacias de retenção são alguns exemplos de aplicação dessa técnica de drenagem, além da revitalização de cursos d'água urbanos. Essas técnicas preventivas e compensatórias têm sido apontadas como mais ambientalmente adequadas para o manejo de águas pluviais urbanas e reduzem os impactos ambientais nos corpos hídricos (REIS e ILHA, 2014; TORAN e JEDRZEJCZYK, 2017 e BOCKHORN et al., 2017). No Brasil, não existe uma política pública universalizada para a implementação de SUDS. Entretanto, algumas cidades começaram a incorporá-las nos seus Planos Diretores de Drenagem Urbana - PDDrUr ou Plano de Manejo de Águas Pluviais Urbanas (VILLANUEVA et al., 2011).

R3 - Governança Participativa: Governança é a capacidade dos governos de planejar, formular e programar políticas e cumprir funções (FERNANDES, WELCH e GONÇALVES, 2012; JACOBI et al., 2012). Atualmente, é incorporada a esse conceito a forma pela qual o governo exerce o seu poder. Nesse contexto, a governança é um importante instrumento para a participação democrática da população nos governos (GROTE & GBKPI, 2002; HIRST, 2000; KOOIMAN, 2002). Essa "governança participativa", baseada na interação entre o governo e a sociedade, tende a potencializar as ações político-administrativas e a diminuir resistências e oposições aos projetos políticos de revitalização de rios (BOURDIN, 2001).

De acordo com Palmer et al. (2007), que realizou uma revisão dos projetos de revitalização de rios nos EUA, os projetos que obtiveram melhores resultados foram aqueles onde havia o envolvimento da população residente na bacia no projeto. Importância ainda deve ser dada à heterogeneidade existente dentro dos atores sociais, a fim de garantir que a maior parcela possível da população seja integrada no processo decisório (SEIDL e STAUFFACHER, 2013).

3.2 Controlador Fuzzy

Como os indicadores foram agrupados no sistema PER, foram estabelecidas regras fuzzy para cada grupo. Criaram-se 125 regras (53) para o sub índice Pressão, 125 (53) para Estado e 27 (33) para Resposta. Na inferência do ÍCARU, agregando os três sub índices ($PRESi + ESTi + RESPi$), elaboraram-se mais 75 regras, totalizando 352 na base de regras fuzzy. A estrutura do controlador fuzzy (SBDR) para calcular o ÍCARU pode ser visualizado na Fig. 4:

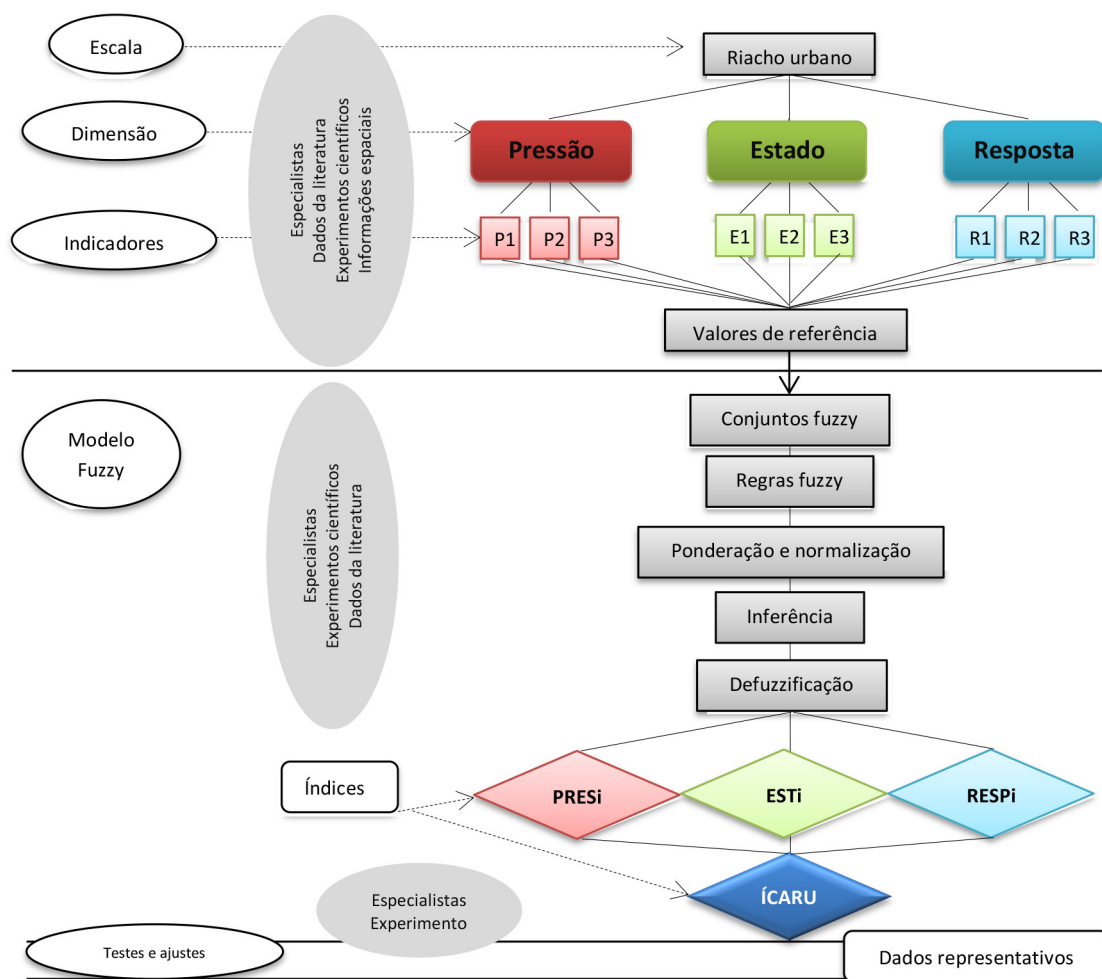


Figura 4 - Estrutura do Sistema Baseado em Regras Difusas para cálculo do Índice de Conservação de Riachos Urbanos - ÍCARU. P1 – Efluente sanitário, P2 – Resíduos sólidos, P3 – Ocupação nas margens, E1 – Índice de Qualidade da Água, E2 – Leito do riacho, E3 – Vegetação ciliar, R1 – Parques lineares, R2 – Plano de drenagem, R3 – Governança participativa, PRESi – sub indicador Pressão, ESTi – sub indicador Estado e RESPi – sub indicador Resposta. Baseado em Santos et al. (2017).

Na defuzificação do ÍCARU foi estabelecida uma escala de 0 a 10 uma classificação em 5 níveis de conservação (Figura 5): **Ótimo** - o riacho urbano possui características ecológicas bem próximas das originais e permite o uso sustentável das suas margens; **Bom** - o riacho urbano possui características ecológicas um pouco diferentes das originais e permite o uso sustentável das suas margens; **Regular**

- o riacho urbano possui características ecológicas um pouco diferentes das originais e suas margens apresentam partes impermeabilizadas; **Ruim** - o riacho urbano possui características ecológicas comprometidas e suas margens apresentam partes impermeabilizadas; **Péssimo**: o riacho urbano possui características ecológicas comprometidas e suas margens estão impermeabilizadas.

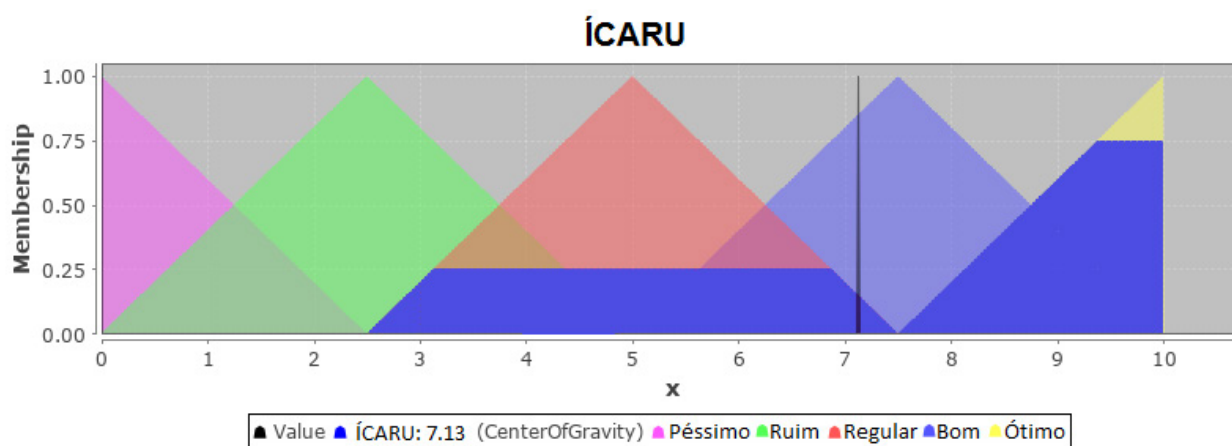


Figura 5 - Exemplo do processo de defuzificação com o método Centro de Gravidade, para obtenção do ÍCARU.

Esse modelo proposto pode ser utilizado, pelos diversos atores, como apoio à decisão sobre a revitalização e a conservação de riachos urbanos. A população é uma das principais beneficiadas, pois a ferramenta é de fácil aplicação e mostra os resultados de forma clara. Dessa forma, a sociedade pode monitorar a conservação de um riacho e, juntamente com o poder público, efetivar medidas para melhorar os indicadores locais.

A modelagem fuzzy facilita a formalização matemática por meio de parâmetros linguísticos, o que leva à criação de sistemas baseados em conhecimento. A ferramenta fornece estrutura analítica que permite aos interessados avaliar a conservação ambiental de riachos urbanos, usando um índice que representa o “valor” medido, a partir do consenso de especialistas e dados reais. O ÍCARU oferece ao usuário ou tomador de decisão a possibilidade de que a incerteza seja modelada de acordo com as complexidades do ecossistema de um riacho urbano.

Entretanto, essa ferramenta é reducionista e tende a simplificar demais o sistema complexo. Contudo, a metodologia permite a melhoria adaptati-

va do ÍCARU com alteração das regras e números *crisp* dos conjuntos fuzzy. Indicadores podem ser incluídos, desde que validados por especialistas, analisando-se a interferência nos outros indicadores, e criadas novas regras. O ajuste pode ser realizado sempre que ocorram avanços no conhecimento e na disponibilidade de dados sobre os indicadores propostos.

4 CONCLUSÃO

Riachos urbanos são ecossistemas complexos e dinâmicos que estabelecem conectividades com outros sistemas naturais, urbanos e sociais. São ambientes que historicamente sofrem degrada-

ção com o estrangulamento e a impermeabilização do seu leito, a supressão da vegetação ciliar e a disposição inadequada de efluentes e resíduos sólidos. Todo esse contexto dificulta o estabelecimento de indicadores ou um único índice que represente as relações entre os diversos aspectos e impactos que envolvem a conservação desse ambiente.

O ÍCARU, que integra indicadores quantitativos e qualitativos em um sistema baseado em lógica fuzzy, mostrou-se adequado para avaliar a conservação de riachos urbanos. A ferramenta de modelagem difusa, baseada em dados científicos, informações oficiais e medidas em campo ou por imagens de satélite, permitiu obter resultados claros para diferentes cenários. O ÍCARU torna-se relevante para realizar o diagnóstico do ambiente e orientar o processo de tomada de decisão e subsidiar a elaboração de políticas públicas que visem a revitalização e conservação de riachos urbanos.

5 CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Todos os autores contribuíram de forma igualitária.

6 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA (ABES), 2019. **Ranking ABES da Universalização do Saneamento**. Disponível em < http://abes-dn.org.br/pdf/Ranking_2019.pdf>. Acesso em: junho de 2019.

BARROS, L. C.; BASSANEZI, R.C.; LODWICK, W. A. **A First Course in Fuzzy Logic, Fuzzy Dynamical Systems, and Biomathematics**. Springer, 2017.

BENNETT, N. J. Using perceptions as evidence to improve conservation and environmental management. **Society Conservation Biology**, v. 00, n. 0,1–11C, 2016. <https://doi.org/10.1111/cobi.12681>

BERNHARDT, E. S.; Palmer, M. A. Restoring streams in an urbanizing world. **Freshwater Biology**, v. 42 Issue 4, p. 738–741, 2007.

BERNHOF, R. A. Mercury toxicity and treatment: a review of the literature. **Journal of Environmental and Public Health**, v. 2012, Article ID 460508, 10 pages, 2012. <https://doi.org/10.1155/2012/460508>

BINDER, Walter. **Rios e Córregos, Preservar – Conservar – Renaturalizar: A Recuperação de Rios, Possibilidades e Limites da Engenharia Ambiental- Rio de Janeiro: SEMADS, 1998. 41p.**

BJORKLAND, R., PRINGLE, C.M. & NEWTON, B. A stream visual assessment protocol (SVAP) for riparian landowners. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 68, p. 99–125, 2001.

BOCKHORN, B. et al. Factors Affecting the Hydraulic Performance of Infiltration Based SUDS in Clay. **Urban Water Journal**, v. 14, n. 2, p. 125–133, 2017.

BÖHRINGER, C.; JOCHEM, P. E. P. Measuring the immeasurable - a survey of sustainability indices. **Ecological Economics**, v. 63, p. 1–8, 2007.

BOURDIN, A. **A questão local**. Rio de Janeiro: DP&A, 2001.

CARVALHO, A.T.F.; SILVA, O.G.; CABRAL, J. J. da S. P.; Efeitos do revestimento de canal e impermeabilização do solo à dinâmica de inundação do rio Arrombados-PE. **Geociências**, v. 36, n. 1, p. 76–88, 2017.

CINGOLANI, P.; ALCALÁ-FDEZ, J. J. Fuzzy Logic: A Robust and Flexible Fuzzy-Logic Inference System Language Implementation. **WCCI 2012 IEEE World Congress on Computational Intelligence**. Brisbane, p. 1090 – 1097, 2012.

COSTA, A. B.; POSSELT, E.L.; MENEZES C.M.; et al. Desenvolvimento e aplicação de índices de qualidade da água. **Caderno de Pesquisa Série Biologia**, v. 24, n. 1, p. 67– 78, jan/abr 2012.

CRONBACH, L. J. & SHAVELSON, R. J. My current thoughts on coefficient alpha and successor procedures. **Educational and Psychological Measurement**, v. 64(3), p. 391–418, 2004.

DENG, X.J.; XU, Y.P.; ZHAI, L.X.; LIU, Y.; LI, Y. Establishment and application of the index system for urban river health assessment. **Acta Ecol. Sin**, v. 34, 993–1001, 2014

EMPINOTTI, V. L.; JACOBI, P. R.; FRACALANZA, A. P. Transparência e a governança das águas. **Estud. Avançados**, v. 30, n. 88. Sept./ Dec., 2016. <https://doi.org/10.1590/s0103-40142016.30880006>

FERNANDES, B. M.; WELCH, C. A.; GONÇALVES, E. C. **Land Governance in Brazil: A geo-historical review**. International Land Coalition. Framing the Debate Series, no. 2 ILC, Rome, 2012. 62P. ISBN: 978-92-95093-73-7

FINDLAY, S. J.; TAYLOR, M. P. Why rehabilitate urban river systems? **Area**, v. 38, n. 3, p. 312–325, 2006.

FRISCHENBRUDER, M. T. M.; PELLEGRINO, P. Using greenways to reclaim nature in Brazilian cities. **Landscape and Urban**

- Planning**, n. 76, p. 67–78, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2004.09.043>
- GOLDSCHMIDT, R.R. **Uma Introdução à Inteligência Computacional: fundamentos, ferramentas e aplicações**. Rio de Janeiro Brasil: IST-Rio., 2010. 142p.
- GONZÁLEZ DEL TÁNAGO, M.; GARCÍA DE JALÓN, D. **Restauración de Ríos**. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, 2007, 318p.
- GROTE, Jürgen R.; GBIKPI, Bernard (eds.). **Participatory governance**. Political and societal implications. Opladen: Leske + Budrich, 2002. ISBN 978-3-663-11003-3
- HANNAFORD, M. J.; BARBOUR, M.T.; RESH, V.H. Training reduces observer variability in visual-based assessments of stream habitat. **Journal of the North American Benthological Society**, n.4, p. 853-860, 1997.
- HIRST, P. **Democracy and governance**. In J. Pierre (Org.). *Debating governance: authority, steering and democracy* (pp. 13-35). Oxford University Press: New York, 2000.
- HUDON, C; JEAN, M.; LÉTOURNEAU, G. Temporal (1970–2016) changes in human pressures and wetland response in the St. Lawrence River (Québec, Canada). **Science of the Total Environment**, n. 643, p. 1137–1151, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.080>
- JACOBI, P. R. **Governança ambiental, participação social e educação para a sustentabilidade**. In: PHILIPPI, A. et al. (Ed.) *Gestão da natureza pública e sustentabilidade*. Barueri: Manole, 2012. p. 343-61.
- JOSHI, A., KALE, S., CHANDEL, S., PAL, D.K. Likert scale: explored and explained. **Br. J. App. Sci. Technol**, n. 7, p. 396-403, 2015. <https://doi.org/10.9734/BJAST/2015/14975>
- KAGEYAMA, P.Y.; GANDARA, F.B. **Recuperação de áreas ciliares**. In: RODRIGUES, R.R.; LEITÃO FILHO, H.F. (Eds.) *Matas ciliares: conservação e recuperação*. 2 ed. São Paulo: EDUSP/FAPESP, 2001. p. 249-270.
- KAYO, E. K., & SECURATO, J. R. Método Delphi: fundamentos, críticas e vieses. **Cadernos de Pesquisa em Administração**, v. 1(4), p. 51-61, 1997.
- KONDOLF, G. M.; PINTO, P. J. The social connectivity of urban rivers. **Geomorphology**, v. 277, p. 182-196, jan. 2017, <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.09.028>
- KOOIMAN, J. Governance. **A social-political perspective**. In J. R. Grote & B. Gbikpi (Eds.). *Participatory governance*. Political and societal implications (pp. 71-96). Opladen: Leske+Budrich, 2002.
- LADSON, A.R. Development and testing of an Index of Stream Condition for waterway management in Australia. **Freshw. Biol.** v. 41, p. 453–468, 1999. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.1999.00442>.
- LAFORTEZZA, R. et al. Green infrastructure as a tool to support spatial planning in European urban regions. **Journal of Biogeosciences and Forestry**, v. 6, p. 102-108, 2013.
- LIMA, H.P., de MASSRUH, A. S. M. F. S, **Sistema FuzzyGen: Manual Do Usuário**. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2009, 24p. (Embrapa Informática Agropecuária. Documentos, 96).
- MACEDO, D. R.; MAGALHÃES, A. P. Percepção Social no Programa de Restauração de cursos d'água urbanos em Belo Horizonte. **Sociedade & Natureza**, v. 23 (1), p. 51-63, abr., 2011.
- MARTÍNEZ, P. C. El árbol en el ecosistema urbano: relaciones entre nuevo urbanismo, sociedad y gestión racional del riesgo. **Ing. Univ.** v. 20, n.1, Bogotá Jan./June, 2016 <https://doi.org/10.11144/Javeriana.iyu20-1.tuec>
- OECD - Organisation for Economic Co-operation and Development - "**OECD Environmental Indicators; Development, Measurement and Use - Reference Paper**", disponível em <<http://www.oecd.org/env/>>
- OECD. OECD Inventory. **Water Governance Indicators and Measurement Frameworks**. OECD Water Governance Initiative. 2015. Disponível em: <http://www.oecd.org/gov/regional-policy/Inventory_Indicators.pdf>
- OLIVEIRA, G. de O.; PISA, B. J. IGovP: índice de avaliação da governança pública — instrumento de planejamento do Estado e de controle social pelo cidadão. **Rev. Adm. Pública** v. 49(5), p. 1263-1290, set./out., 2015. <https://doi.org/10.1590/0034-7612136179>
- ÖZGÜNER, H.; ERASLAN, S.; YILMAZ, S. Public perception of landscape restoration along a degraded urban streamside. **Land Degradation and Development**, v. 23, p. 24–33, 2012
- PALMER, M. A.; BERNHARDT, E. S.; SUDDUTH, E. B.; ALLAN, D.; MEYER, J. L.; ALEXANDER, G. FOLLASTAD-SHAH, J.; HASSET, B.; JENKINSON, R.; LAVE, R.; RUMPS, J.; PAGANO, L. Restoring Rivers One Reach at a Time: Results from a Survey of U.S. River Restoration Practitioners. **Restoration Ecology**, v. 15, n 3, p. 482–493, 2007.
- PINSONNEAULT, A. e KRAEMER, K. L. Survey research in management information systems: an assesment. **Journal of Management Information System**, v. 10, p. 75-105, 1993. <https://doi.org/10.1080/07421222.1993.11518001>
- PIRES, Roberto R. C. (Org.). **Efetividade das instituições participativas no Brasil: estratégias de avaliação**. Brasília: IPEA, 2011.
- POMPÊO, C. A.; RIGOTTI, J. A.; FREITAS FILHO, M. D. Urban stream condition Assessment. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN DRAINAGE, 12., 10-15 set. 2011, Porto Alegre. **Anais...** Disponível em: <<https://web.sbe.hw.ac.uk/staffprofiles/bdgsa/temp/12th%20ICUD/PDF/PAP005432.pdf>>

- REIS, R. P. A.; ILHA, M. S. de O. Comparação de Desempenho Hidrológico de Sistemas de Infiltração de Água de Chuva: poço de infiltração e jardim de chuva. **Ambiente Construído**, v. 14, n. 2, p. 79-90, abr./jun., 2014.
- ROY, A. H.; WENGER, S. J.; FLETCHER, T. D.; WALSH, C. J.; LADSON, A. R.; SHUSTER, W. D.; THURSTON, H. W.; BROWN, R. R. Impediments and solutions to sustainable, watershed-scale urban stormwater management: lessons from Australia and the United States. **Environmental Management**, n. 42, n. 2, p. 344-359, 2008.
- SALES, R. J. de M.; GOMES, V. U.; SOUZA, R. O. Aplicação da Teoria Fuzzy em um Modelo Bidimensional de Transporte de Massa, para estudar o Risco em Rios. **Revista DAE**, nº 194, p. 104-118, jan./abr. 2014.
- SANTOS, S. A.; LIMA, H. P. de.; MASSRUH, S. M.F.S.; ABREU, U. G. P. de; TOMAS, W. M.; SALIS, S. M.; CARDOSO, E. L.; OLIVEIRA, M. D. de; SOARES, M. T. S.; SANTOS JR, A. dos.; OLIVEIRA, L. O. F. de.; CALHEIROS, D. F.; CRISPIM, S. M. A., SORIANO, B. M. A.; AMÂNCIO, C. O. G. NUNES, A. P.; PELLEGRIN, L. A. A fuzzy logic-based tool to assess beef cattle ranching sustainability in complex environmental systems. **Journal of Environmental Management**, v. 198, p.95-106, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.04.076>
- SEIDL, R., and M. STAUFFACHER. Evaluation of river restoration by local residents. **Water Resources Research** v. 49, p. 7077-7087, 2013. <https://doi.org/10.1002/2013WR013988>
- SNIS – SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos**. Brasília: Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (SNSA)/Ministério das Cidades, Brasília, 2017. 218 p,
- SINGH, P. K.; SAXENA, S. Towards developing a river health index. **Ecological Indicators**, v. 85, p. 999-1011, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.11.059>
- SOARES, M. C.; BONZI, R. S. ; OLIVEIRA, E. M. . Aplicação do Desenho Ambiental na Bacia do Córrego das Corulas: potencialidades e limitações na implantação de um parque linear. **Revista LABVERDE**, v. 04, p. 30-62, 2012.
- TAYLOR, D. E. **The rise of the American conservation movement: power, privilege, and environmental protection**. Durham: Duke University Press, 2016.
- THOMS, M.C. Flood-plain river ecosystems: lateral connections and the implications of human interference. **Geomorphology**, v. 56, p. 335-349, 2003.
- TORAN, L.; JEDRZEJCZYK, C. Water Level Monitoring to Assess the Effectiveness of Stormwater Infiltration Trenches. **Environmental & Engineering Geoscience**, v. 23, n. 2, p. 113-124, 2017. <https://doi.org/10.2113/gsegeosci.23.2.113>
- TUCCI, Carlos. **Hidrologia Ciência e Aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2015.
- TUCCI, C. E. M. Indicador de Sustentabilidade Hídrica Urbana. **REGA**, v. 14, e7, 2017. <https://doi.org/10.21168/rega.v14e7>
- URBEM – Urban River Basin Enhancement Methods. **New techniques for urban river rehabilitation: How to re-naturalise flow regimes Recommendations**. Work Package 8. March 2004.
- VILLANUEVA, A. O. N. et al. Gestão da drenagem urbana, da formulação à implementação. *Revista de Gestão de Água da América Latina – Rega*. v. 8, n. 1, p. 5-18, 2011. <https://doi.org/10.21168/rega.v8n1.p5-18>
- VON SPERLING, M. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**. 4ª Edição. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014.
- WALSH et al., The urban stream syndrome: current knowledge and the search for a cure. **Journal of the North American Benthological Society**, v. 24, p. 706 – 723, 2005.
- WHOL, E., ANGEMEIER, P.L., KONDOLF, G. et al. River Restoration. **Water Resources Research**, v. 41, p. 1-12, 2005.
- ZHANG, K.; SHEN, J.; Han, H.; Jia, Y. Urban River Health Analysis of the Jialu River in Zhengzhou City Using the Improved Fuzzy Matter-Element Extension Model. **Water**, v. 11, 1190, 2019. <https://doi.org/10.3390/w11061190>.
- ZIMMERMANN, H. J. **Fuzzy set theory and its applications**. Springer Science & Business Media, 2011. 514p.
- ZSCHORNACK, T.; OLIVEIRA, T. M. N. Avaliação do impacto da implantação do sistema de esgotamento sanitário na qualidade da água da Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira, em Joinville, Santa Catarina. **Revista DAE**, v. 66, n. 212, p. 118-131, 2018. <https://doi.org/10.4322/dae.2018.027>