



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

JOSÉ LUÍS SAID COMETTI

**SISTEMA PARA AVALIAÇÃO DA CONSERVAÇÃO AMBIENTAL DE RIACHOS
URBANOS BASEADO EM REGRAS DIFUSAS**

Recife
2019

JOSÉ LUÍS SAID COMETTI

**SISTEMA PARA AVALIAÇÃO DA CONSERVAÇÃO AMBIENTAL DE RIACHOS
URBANOS BASEADO EM REGRAS DIFUSAS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil.

Área de concentração: Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral.

Recife
2019

Catálogo na fonte
Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

C732s	Cometti, José Luís Said. Sistema para avaliação da conservação ambiental de riachos urbanos baseado em regras difusas / José Luís Said Cometti. - 2019. 180 folhas, il., gráfs., tabs. Orientador: Prof. Dr. Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2019. Inclui Referências e Apêndices. 1. Engenharia Civil. 2. Lógica Fuzzy. 3. Índice de conservação de riachos urbanos. 4. ÍCARU. 5. Riacho do Cavouco. 6. Riacho do Parnamirim. I. Cabral, Jaime Joaquim da Silva Pereira. (Orientador). II. Título. 624 CDD (22. ed.)	UFPE BCTG/2020-51
-------	---	---------------------------------

JOSÉ LUÍS SAID COMETTI

**SISTEMA PARA AVALIAÇÃO DA CONSERVAÇÃO AMBIENTAL DE RIACHOS
URBANOS BASEADO EM REGRAS DIFUSAS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil.

Aprovada em: 19/11/2019.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Anderson Luiz Ribeiro de Paiva (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof.^a Dr.^a Sylvana Melo dos Santos (Examinadora Interna)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Ricardo Augusto Pessoa Braga (Examinador Externo)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof.^a Dr.^a Waléria Guerreiro Lima (Examinadora Externa)
Centro Universitário Guararapes

Dedico este trabalho aos meus pais, Luzinea e Miguel.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), por oferecer o curso de pós-graduação em Engenharia Civil com linhas de pesquisa que contribuem para a melhoria da qualidade ambiental e de vida da população.

À Agência Estadual de Meio Ambiente (CPRH), por acreditar na formação continuada do servidor e por ter apoiado esta pesquisa, disponibilizando os serviços do Laboratório de Qualidade Ambiental Professor Aداucto da Silva Teixeira e a todos os amigos que trabalham comigo.

Ao professor Dr. Jaime Joaquim da Silva Cabral por toda orientação a mim repassada, da forma mais cordial e entusiasmada na revitalização dos riachos urbanos do Recife.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC), áreas de concentração Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, por todo o conhecimento construído ao longo das disciplinas.

À Helano Lima da Embrapa Informática Agropecuária pela enorme contribuição a esta pesquisa.

À amiga Ana Cunha, que foi uma grande motivadora para que eu realizasse esse trabalho.

À amiga Nailza e à professora Maria do Carmo Sobral por terem aberto as portas do PPGEC para mim.

Aos amigos Luiz Paulo, Aداuto, Antônio, Aline, Andreza, Maira, Thaís, Tassiane, Thiago, Adriana, Cynthia, Débora, Daniela, Joelly e Nélia pelas longas conversas e contribuições neste trabalho e na minha vida.

Aos estagiários Taylse, Jefferson, Amanda, Fernanda e Brenda pelas contribuições.

Aos meus pais, Luzinea e Miguel, pelo incentivo e pelo exemplo de que o caminho do conhecimento sempre é vencedor.

“Lembra, isso é um rio!” Frase escrita às margens do riacho do Parnamirim,
Recife – PE (autor desconhecido).

RESUMO

Os rios e riachos urbanos são ecossistemas complexos que integram os ambientes natural, construído e socioeconômico. Devido à urbanização não planejada, esses ambientes são aterrados, retificados, canalizados ou tamponados, impactando diretamente a sua dinâmica hidrológica e o ciclo da água, recebendo, ainda, grande carga de esgoto doméstico e resíduos sólidos. Projetos de revitalização de rios e riachos urbanos têm sido executados em várias cidades do mundo buscando reestabelecer o seu equilíbrio ecológico e a sua função social. Para consolidar de maneira mais efetiva o diagnóstico dos cursos d'água urbanos no Brasil, o Índice de Conservação de Riachos Urbanos (ÍCARU) foi desenvolvido a partir de um conjunto de indicadores classificados no modelo Pressão-Estado-Resposta (PER) e calculado a partir de um Sistema Baseado de Regras Difusas (SBRD). Nove indicadores foram selecionados por especialistas por meio de pesquisa *survey*, considerando a simplicidade e clareza, disponibilidade do dado, baixo custo de obtenção e facilidade de aplicação. Os indicadores selecionados para a dimensão “pressão” estão relacionados à intensidade de descarga de poluentes no riacho e ao 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. O SBRD foi modelado e construído utilizando o *software* FuzzyGen e disponibilizados na *web* por meio do WebFuzzy. Na etapa de fuzzificação foram criadas um total de 352 regras fuzzy na base. Na inferência foi utilizado o método Mamdani e, na defuzzificação, o ÍCARU foi estabelecido em uma escala de 0 a 10 e classificado em 5 níveis de conservação: ótimo, bom, regular, ruim e péssimo. O modelo foi validado por um grupo de especialistas após simulações de diferentes cenários. Aplicado nos riachos do Cavouco e Parnamirim, no Recife - PE, mostrou-se que a conservação ambiental varia de regular a péssima. O ÍCARU 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 direcionarem ações para a conservação dos riachos urbanos.

Palavras-chave: Lógica Fuzzy. Índice de Conservação de Riachos Urbanos. ÍCARU.
Riacho do Cavouco. Riacho do Parnamirim.

ABSTRACT

Urban rivers and streams are complex ecosystems that integrate natural, built and socioeconomic environments. Due to unplanned urbanization, these environments are grounded, rectified, piped or buffered, impacting directly their hydrological dynamics and water cycle, as well as receiving a large load of domestic sewage and solid waste. Rehabilitation projects on urban rivers and streams have been carried out in various cities around the world seeking to reestablish their ecological balance and social function. To effectively consolidate the diagnosis of urban watercourses in Brazil, we developed the Urban Stream Conservation Index (ÍCARU) from a set of indicators classified in the Pressure-State-Response (PER) model and calculated from of a Fuzzy Rule-Based System (SBRD). Experts were consulted through survey research and selected nine indicators considering the criteria of simplicity, clarity, availability of data collection, low cost of obtaining and ease of application. For the "pressure" dimension the selected indicators are related to the intensity of pollutant discharge in the stream and the impact suffered by urbanization. For "state", a chemical, a physical and a biological indicator were selected. And, in the "response" dimension, social actions were selected that reduce pressures and improve the ecological state of an urban stream. The SBRD was modeled and built using FuzzyGen software and made available on the web through WebFuzzy. In the fuzzification stage, a total of 352 fuzzy rules were created in the base. In the inference, it was used the Mamdani method and, in the defuzzification, the center of gravity. ÍCARU was established on a scale from 0 to 10 and classified into 5 conservation levels: optimal, good, fair, poor and very poor. The model was validated by a group of experts after simulations of different scenarios. Applied in the Cavouco and Parnamirim streams in Recife - PE, environmental conservation has been shown to vary from regular to poor. ÍCARU will be instrumental in assessing the current condition, reflecting on possible revitalization scenarios and monitoring the impact of interventions on urban streams, thereby leading the public authorities and society to direct actions for the conservation of urban streams. The model was validated by a group of experts after simulations of different scenarios. Applied in the Cavouco and Parnamirim streams, in Recife - PE, this model showed that the environmental conservation of these watercourses varies from regular to bad. ÍCARU will be instrumental in assessing the current condition, reflecting on possible

revitalization scenarios and monitoring the impact of interventions on urban streams, thereby leading the public authorities and society to direct actions for the conservation of urban streams.

Keywords: Fuzzy logic. Urban Stream Conservation Index. ICARU. Cavouco Stream. Parnamirim Stream.

LISTA DE FIGURAS

Fundamentação Teórica

Figura 1 –	Diferenças no amortecimento do hidrograma de cheias em razão de modificações no traçado do canal fluvial.....	29
Figura 2 –	Foto comparativa do processo de revitalização do rio Cheonggyencheon em Seul, Coreia do Sul, antes, durante e depois.....	37
Figura 3 –	Esquema do modelo Pressão-Estado-Resposta.....	42
Figura 4 –	Exemplo de variável linguística em conjuntos fuzzy.....	48
Figura 5 –	Exemplo de funções de pertinência em conjuntos fuzzy.....	49
Figura 6 –	Funções de pertinência (a) Triangular, (b) Trapezoidal, (c) Sigmoidal e (d) função de Bell.....	50
Figura 7 –	Esquema básico controlador fuzzy.....	51

Artigo 1

Figura 1 –	Processo de fuzificação, obtido como o exemplo de valores do Índice de Qualidade de Água.....	60
Figura 2 –	Formação (A) e área de atuação profissional (B) dos participantes da pesquisa <i>survey</i>	63
Figura 3 –	Indicadores agrupados no sistema Pressão-Estado-Resposta para compor o ÍCARU.....	63
Figura 4 –	Estrutura do Sistema Baseado em Regras Difusas para cálculo do Índice de Conservação de Riachos Urbanos – ÍCARU.....	72
Figura 5 –	Exemplo do processo de defuzzyficação com o método Centro de Gravidade, para obtenção do ÍCARU.....	73

Artigo 2

Figura 1 –	Ocupação nas margens do riacho Parnamirim no bairro de Casa Forte, Recife-PE.....	82
------------	---	----

Figura 2 –	Estrutura de canal e talude com vegetação no riacho do Cavouco no bairro do Cordeiro, Recife-PE.....	83
Figura 3 –	Localização dos pontos de coleta nos riachos Parnamirim e Cavouco, Recife-PE.....	84
Figura 4 –	Material de coleta composto por balde, frascos de vidro e plástico e caixa térmica.....	85
Figura 5 –	Oxigênio Dissolvido (mg/L) do riacho do Cavouco (2016-2017).....	91
Figura 6 –	Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L) do riacho do Cavouco (2016-2017).....	92
Figura 7 –	Índice de Qualidade da Água do riacho do Cavouco (2016-2017).....	95
Figura 8 –	Índice de Qualidade da Água do riacho do Cavouco em três trechos (2016-2017).....	97

Artigo 3

Figura 1 –	Área de estudo com delimitação dos trechos nos riachos do Cavouco e Parnamirim.....	105
Figura 2 –	Estrutura do SBRD para cálculo do ÍCARU.....	109
Figura 3 –	Comparativo qualitativo dos sub índices Pressão, Estado e Resposta e ÍCARU, trecho 1 do riacho do Cavouco.....	113
Figura 4 –	ÍCARU (centro de gravidade) do trecho 1 do riacho do Cavouco.....	113
Figura 5 –	Comparativo qualitativo dos sub índices Pressão, Estado e Resposta e ÍCARU, trecho 2 do riacho do Cavouco.....	114
Figura 6 –	ÍCARU (centro de gravidade) do trecho 2 do riacho do Cavouco.....	114
Figura 7 –	Comparativo qualitativo dos sub índices Pressão, Estado e Resposta e ÍCARU, trecho 3 do riacho do Cavouco.....	115
Figura 8 –	ÍCARU (centro de gravidade) do trecho 3 do riacho do Cavouco.....	115

Figura 9 –	Comparativo qualitativo dos sub índices Pressão, Estado e Resposta e ÍCARU, trecho 4 do riacho do Cavouco.....	116
Figura 10 –	ÍCARU (centro de gravidade) do trecho 4 do riacho do Cavouco.....	116
Figura 11 –	Comparativo qualitativo dos sub índices Pressão, Estado e Resposta e ÍCARU, trecho 5 do riacho do Cavouco.....	117
Figura 12 –	ÍCARU (centro de gravidade) do trecho 5 do riacho do Cavouco.....	117
Figura 13 –	Comparativo qualitativo dos sub índices Pressão, Estado e Resposta e ÍCARU, trecho 1 do riacho Parnamirim.....	118
Figura 14 –	ÍCARU (centro de gravidade) do trecho 1 do riacho Parnamirim.....	118
Figura 15 –	Comparativo qualitativo dos sub índices Pressão, Estado e Resposta e ÍCARU, trecho 2 do riacho Parnamirim.....	119
Figura 16 –	ÍCARU (centro de gravidade) do trecho 2 do riacho Parnamirim.....	119
Figura 17 –	Comparativo qualitativo dos sub índices Pressão, Estado e Resposta e ÍCARU, trecho 3 do riacho Parnamirim.....	120
Figura 18 –	ÍCARU (centro de gravidade) do trecho 3 do riacho Parnamirim.....	120

LISTA DE QUADROS

Fundamentação Teórica

Quadro 1 –	Experiências mundiais com renaturalização e revitalização de rios urbanos.....	38
Quadro 2 –	Experiências Brasileiras com renaturalização e revitalização de rios urbanos.....	39

Artigo 2

Quadro 1 –	Normas específicas do <i>Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater</i> dos parâmetros medidos.....	86
Quadro 2 –	Parâmetros de qualidade de água e pesos relativos para cálculo do IQA.....	88
Quadro 3 –	Pontuação do IQA para classificação da qualidade da água.	88

Artigo 3

Quadro 1 –	Indicadores que compõe o Índice de Conservação Ambiental de Riachos Urbanos (ÍCARU).....	107
------------	--	-----

Considerações Finais

Quadro 3 –	Principais problemas e propostas para revitalização do riacho do Cavouco.....	129
Quadro 4 –	Principais problemas e propostas para revitalização do riacho Parnamirim.....	130

LISTA DE TABELAS

Artigo 1

Tabela 1 –	Características dos indicadores que compõem o Índice de Conservação Ambiental de Riachos Urbanos.....	65
------------	---	----

Artigo 2

Tabela 1 –	Qualidade da água do riacho do Cavouco (2016-2017).....	89
Tabela 2 –	Qualidade da água do riacho do Parnamirim (2016-2017).....	89
Tabela 3 –	Pontuação e classificação do Índice de Qualidade de Água dos riachos Parnamirim e Cavouco (2016-2017).....	95

Artigo 3

Tabela 1 –	Dados dos indicadores por trecho dos riachos do Cavouco e Parnamirim.....	110
Tabela 2 –	Sub indicadores PRESi, ESTi e RESPi e ÍCARU dos riachos do Cavouco e Parnamirim.....	110

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APPs	Áreas de Preservação Permanente
CPRH	Agência Estadual de Meio Ambiente
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQA	Diretiva Quadro da Água
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias
ESTi	Sub índice Estado
ÍCARU	Índice de Conservação Ambiental para Riachos Urbanos
IQA	Índice de Qualidade da Água
OD	Oxigênio dissolvido
OECD	<i>Organization for Economic Cooperation and Development</i>
PC1	Ponto de coleta no riacho do Cavouco, no laguinho da UFPE
PC2	Ponto de coleta no riacho do Cavouco, UFPE
PC3	Ponto de coleta no riacho do Cavouco, na interseção da Av. Caxangá
PDDrUr	Planos Diretores de Drenagem Urbana
PER	Pressão-Estado-Resposta
PP1	Ponto de coleta no riacho Parnamirim, interseção com a rua Samuel Lins
PP2	Ponto de coleta no riacho Parnamirim, interseção com a Av. 17 de agosto
PP3	Ponto de coleta no riacho Parnamirim, interseção com a rua Dr. João Santos Filho
PRESi	Sub índice Pressão
RESPI	Sub índice Resposta
SBRD	Sistema Baseado em Regras Difusas
SMWW	<i>Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater</i>
STD	Sólidos Totais Dissolvidos
SUDS	Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentável
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
URBEM	<i>Urban River Basin Enhancement Methods</i>
WSUD	<i>Water Sensitive Urban Design</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	19
1.1	JUSTIFICATIVA.....	21
1.2	HIPÓTESE.....	23
1.3	OBJETIVOS.....	24
1.3.1	Geral	24
1.3.2	Específicos	24
1.4	METODOLOGIA RESUMIDA.....	25
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	27
2.1	RIOS E RIACHOS URBANOS.....	27
2.1.1	O Contexto de degradação	28
2.1.2	Marco conceitual da recuperação/revitalização.....	30
2.1.3	Princípios para a recuperação/revitalização de rios e riachos urbanos.....	33
2.1.4	Experiências mundiais e nacionais de renaturalização/revitalização de rios e riachos urbanos.....	36
2.2	INDICADORES AMBIENTAIS.....	39
2.2.1	O Modelo Pressão Estado Resposta (PER).....	41
2.2.2	Indicadores e índices ambientais para rios e riachos urbanos.....	44
2.3	LÓGICA FUZZY.....	46
2.3.1	Conjuntos Fuzzy.....	47
2.3.2	Variáveis linguísticas.....	47
2.3.3	Função de pertinência.....	48
2.3.4	Sistema de Inferência Fuzzy.....	50
2.3.5	Aplicação da Lógica Fuzzy.....	53
3	RESULTADOS.....	56

3.1	ARTIGO 1 – MODELO FUZZY PARA AVALIAÇÃO DA CONSERVAÇÃO AMBIENTAL DE RIACHOS URBANOS.....	56
3.2	ARTIGO 2 – ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA DOS RIACHOS DO CAVOUCO E PARNAMIRIM, RECIFE-PE.....	80
3.3	ARTIGO 3 – ÍNDICE DE CONSERVAÇÃO AMBIENTAL DE RIACHOS URBANOS (ÍCARU) DOS RIACHOS DO CAVOUCO E PARNAMIRIM, RECIFE-PE.....	103
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	126
	REFERÊNCIAS.....	132
	APÊNDICE A – FORMULÁRIO PARA PESQUISA COM ESPECIALISTAS EM RIACHOS URBANOS.....	151
	APÊNDICE B – RESPOSTAS DA PESQUISA COM ESPECIALISTAS.....	153
	APÊNDICE C – REGRAS FUZZY ESTABELECIDAS PARA O ÍCARU.....	155
	APÊNDICE D – INTERFACE DO SISTEMA BASEADO EM REGRAS DIFUSAS (SDRD).....	164
	APÊNDICE E – DADOS DE QUALIDADE DA AGUA DOS RIACHOS DO CAVOUCO E PARNAMIRIM, RECIFE-PE.....	167
	APÊNDICE F – MAPAS DE OCUPAÇÃO, VEGETAÇÃO E PARQUES LINEARES ÀS MARGENS DOS RIACHOS CAVOUCO E PARNAMIRIM.....	171
	APÊNDICE G – PUBLICAÇÕES GERADAS A PARTIR DESTA TESE.....	178
	APÊNDICE H – ATIVIDADE DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL DESENVOLVIDA.....	179

1 INTRODUÇÃO

Ele passava ali, em silêncio,
Pertinho da casa de Carol,
na frente da casa de Verinha:
a menina do cabelo caracol.

Ele era o rio dos meninos
e das meninas também!
Rio de Dona Severina,
De Seu Amaro e de Seu Belém.
(CPRH, 2018)

No Brasil, o aumento da população urbana sem o acompanhamento presente ou com o acompanhamento negligente do poder público tem provocado impactos ambientais frequentes. A ocupação irregular e a construção em encostas e em margens de rios têm contribuído para a ocorrência de acidentes, principalmente nos períodos chuvosos. Para Ermínia Maricato, a imagem das cidades brasileiras está definitivamente associada à violência, à poluição, ao tráfego caótico, às enchentes, à desigualdade social, entre outros fatores (MARICATO, 2000).

Várias cidades se estabeleceram em função de um rio. No Brasil, é o caso de São Paulo, Belém, Manaus, Recife, João Pessoa e tantas outras. O rio era utilizado como meio de transporte e favoreceu o crescimento desses centros urbanos. Assim, à medida que as cidades se desenvolvem, a ocupação das margens dos rios também avança. Como são áreas mais baixas e susceptíveis às inundações, normalmente são terrenos mais desvalorizados pela indústria imobiliária e mais ocupados por pessoas em situação de vulnerabilidade econômica (SILVA et al., 2016).

A cidade do Recife, capital do estado de Pernambuco, se desenvolveu sobre as bacias dos rios Capibaribe, Beberibe e Tejipió. A urbanização desordenada ao longo dos anos vem ocupando as margens dos inúmeros riachos que compõem a sua rede hidrográfica. Esse tipo de ocupação causa grandes impactos sobre os recursos hídricos, como assoreamento e poluição das águas por lançamento de esgoto sem tratamento e de resíduos sólidos.

A canalização de rios e riachos urbanos foi uma prática adotada ao longo do século XX para a drenagem de águas pluviais nas cidades brasileiras. De acordo com Cabral et al. (2004), praticamente todos os cursos d'água da cidade do Recife foram canalizados e muitos baixios aterrados. Cabral, Preuss e Fonseca Neto (2014) destacam que:

A canalização de rios e córregos urbanos, além de causar uma série de prejuízos ao meio ambiente, por descaracterizar totalmente o habitat natural, provoca o início de uma cadeia recorrente de problemas: favorecimento de ligações de esgotos clandestinos, ocupação das margens e das áreas de expansão de cheias, problemas de enchentes a jusante e o isolamento da conexão hidráulica entre o aquífero e o rio.

O padrão de configuração espacial do Recife virou as costas aos ambientes naturais que integram a paisagem urbana. Basta ver a transformação de ecossistemas frágeis como manguezais, matas e estuários em edificações, como na bacia do rio Capibaribe. A impermeabilização do solo é outro fator que contribui para a deterioração da qualidade ambiental e para os constantes alagamentos na cidade. Sua estrutura de drenagem já se mostra ineficiente para os 2000 mm/ano de chuva e sua peculiar geomorfologia que provoca recorrentes enchentes (RECIFE, 2016).

A qualidade da água dos rios e riachos urbanos é impactada, principalmente, pelo lançamento dos esgotos domésticos sem tratamento. As cargas orgânicas, ao entrar em contato com a água do rio, desencadeiam um processo de degradação resultante de uma sequência de fenômenos de natureza microbiológica (decomposição), química (oxidação) e física (diluição, sedimentação e reaeração atmosférica), eventos esses conhecidos como autodepuração (BRAGA et al., 2013). Ou seja, nesse processo ocorre o consumo do oxigênio dissolvido (OD) do rio para degradar a matéria orgânica. Sem OD, organismos aeróbios, como peixes, morrem.

O impacto dessas ações sobre a qualidade da água dos riachos urbanos é negativo e significativo. Em 2010, a Agência Nacional de Águas (ANA) analisou a qualidade da água em 135 cursos d'água em áreas urbanas no Brasil e mostrou que 47% desses apresentaram um índice de qualidade da água ruim ou péssimo, estando a maior parcela situada em grandes capitais (ANA, 2012). Em Recife, o

monitoramento da qualidade da água dos riachos urbanos é praticamente inexistente e poucos trabalhos científicos foram realizados.

Considerando a forma de urbanização desordenada de Recife e de outras cidades que ocuparam irregularmente as margens dos riachos e suas transformações em canais, além da pouca capacidade do Estado de promover o saneamento básico em todas as áreas da cidade, alternativas devem ser implementadas para contribuir com a recuperação dos riachos urbanos. Essas propostas devem estar em harmonia com o ambiente natural e construído, buscando melhorar a qualidade da água dos riachos urbanos e, conseqüentemente, a qualidade de vida da população, contribuindo para a sustentabilidade.

Neste contexto, estão surgindo atividades de grande representatividade que visam uma mudança de paradigmas em relação ao espaço das águas na cidade. No Recife, por exemplo, a revitalização do rio Capibaribe e de seus afluentes está se iniciando (CABRAL; PREUSS; FONSECA NETO, 2014). Ações mundiais voltadas para a recuperação de corpos d'água urbanos se baseiam na eliminação de cargas poluentes pontuais e difusas, parques lineares, programas de gestão participativa nas bacias hidrográficas e criação de legislação que estabeleça as condições para a conservação e revitalização dos riachos urbanos (MACEDO; CALLISTO; MAGALHÃES, 2011).

1.1 JUSTIFICATIVA

A revitalização de cursos d'água no ambiente urbano já é uma pauta de discussão na sociedade, principalmente na Europa. A Diretiva Quadro da Água (DQA) (*Water Framework Directive*) da União Europeia estabelece o objetivo de atingir o bom estado das águas, que engloba, para as águas de superfície, o bom estado químico, o bom estado ecológico e o potencial ecológico. Para os corpos hídricos fortemente modificados que não sejam viáveis um retorno à sua condição original do ponto de vista técnico, financeiro e ecológico, aplica-se o conceito potencial ecológico. Esse objetivo exige a melhoria da qualidade da água e a redução ou eliminação das pressões antrópicas que causam a degradação (EC, 2000).

Nesse contexto, os projetos, de forma geral, objetivam devolver aos mananciais uma boa qualidade da água, recuperação do desempenho ecológico e a obtenção de uma paisagem mais próxima do seu estado natural integrado com as necessidades das cidades. Para tanto, tem-se adotado nesses projetos o conceito de infraestrutura verde-azul. Ferreira e Machado (2010) a definem como:

Infraestrutura verde é uma rede de áreas naturais e áreas abertas (*open spaces*), fundamentais para o funcionamento ecológico do território, contribuindo para a preservação dos ecossistemas naturais, da vida selvagem, para a qualidade do ar e da água e para a qualidade de vida dos cidadãos, sendo a infraestrutura azul aquela que integra as linhas de água, áreas adjacentes e cabeceiras, dentre outros corpos d'água.

Essa proposta de integração dos cursos d'água à paisagem urbana vem obtendo resultados satisfatórios com a criação de parques lineares nas suas margens, resultados estes que reverberam na drenagem urbana, na função ecológica, em serviços ambientais oferecidos pelos cursos hídricos e na aceitação da sociedade. São exemplos a Alemanha, com o rio Isar; a França, com o rio Sena; e o rio Cheonggyencheon em Seul, na Coreia. No Brasil, alguns casos também se destacam, como o rio Tijuco Preto em São Paulo e rio das Velhas em Minas Gerais (BERNHARDT; PALMER, 2007; ROLLO; GALLARDO; RIBEIRO, 2017; LONDE; SOUSA; KOZOVITS, 2017).

A forma de avaliação de projetos de restauração ecológica de rios e riachos ainda não é fortemente consolidada (PALMER; HONDULA; KOCH, 2014; ZHANG et al., 2019). Alguns autores se concentram apenas nos resultados ecológicos e outros afirmam que é necessário medir os benefícios socioeconômicos fornecidos pelos ecossistemas recuperados (CARDINALE et al., 2012). Shackelford et al. (2013) sugerem indicadores sociais e culturais nesse processo.

O *Urban River Basin Enhancement Methods (URBEM)*, projeto financiado pela União Europeia, desenvolveu uma série de orientações para reabilitação de cursos d'água urbanos. Dentre elas, o desenvolvimento de ferramentas para avaliar o potencial de melhoria e reabilitação desses ambientes submetidos a projetos de intervenção. Ao todo, são 91 indicadores, sendo 41 ecológicos, 43 sociais e sete econômicos (URBEM, 2004).

Muitos desses indicadores propostos pelo URBEM necessitam de uma pesquisa muito aprofundada, que demanda tempo e recursos, como por exemplo: a composição taxinômica do fitoplâncton (EL-1), estrutura etária das comunidades de peixes (EL-14), autoestima da população (S-28), média do valor de imóveis (EN-1), dentre outros. Além disso, o método proposto pelo URBEM visa avaliar o potencial ecológico de rios pós-implementação de projetos, é flexível e deve-se determinar quais são os indicadores reais e seu peso para cálculo do *score* de cada projeto.

No Brasil ainda não existe uma metodologia consolidada para avaliar o estado ecológico ou o potencial ecológico de rios e riachos. As avaliações têm se restringido ao estado químico das águas, por meio do Índice de Qualidade da Água (IQA), estabelecido pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). Esse índice é amplamente usado no país e é adotado pelo Ministério do Meio Ambiente para divulgação de resultados de qualidade da água de rios e reservatórios. Vários estados brasileiros usam o IQA–Cetesb adaptado à sua região.

Alguns trabalhos acadêmicos no Brasil têm abordado a avaliação de cursos d'água urbanos e bacias hidrográficas pelo viés da sustentabilidade ou por mapas temáticos específicos (POMPÊO; RIGOTTI; FREITAS, 2011; RAMOS et al., 2017; TUCCI, 2017). Portanto, torna-se relevante o estabelecimento de um conjunto de indicadores que sirvam para avaliar a conservação ambiental desses ecossistemas inseridos no contexto urbano. Dessa forma, será possível um diagnóstico dos cursos d'água urbanos e a avaliação da efetividade de projetos futuros de revitalização.

1.2 HIPÓTESE

Este trabalho pretende validar a seguinte hipótese:

O estado de conservação de um riacho urbano no Brasil pode ser definido com indicadores robustos, a partir de dados de rápido acesso e utilizando uma modelagem difusa que mostra os resultados em variáveis linguísticas de fácil interpretação.

Após a confirmação da hipótese, a metodologia proposta poderá ser aplicada em diferentes localidades do Brasil, visando a sensibilização da sociedade e

governos para os cuidados com os riachos urbanos e também na avaliação da eficácia de intervenções a serem executadas nesses cursos hídricos.

1.3 OBJETIVOS

Como forma de alcançar as metas dos procedimentos metodológicos tem-se os objetivos geral e específicos.

1.3.1 Geral

Desenvolver um Índice de Conservação Ambiental para Riachos Urbanos (ÍCARU) de fácil acesso, aplicação e interpretação, utilizando um Sistema Baseado em Regras Difusas (SBRD).

1.3.2 Específicos

Para alcançar o objetivo geral, foram estabelecidos como objetivos específicos:

- a) Selecionar parâmetros que possam avaliar o estado de conservação ambiental de riachos urbanos a partir da visão de especialistas;
- b) Desenvolver um SBRD para calcular o Índice de Conservação Ambiental de rios urbanos;
- c) Determinar o Índice de Qualidade da Água (IQA) dos riachos do Cavouco e do Parnamirim, no Recife, e avaliar o estado químico desses cursos d'água;
- d) Aplicar o SBRD desenvolvido e determinar o ÍCARU para os riachos do Cavouco e Parnamirim, no Recife-PE;
- e) Sugerir medidas que promovam a revitalização de riachos no Recife.

1.4 METODOLOGIA RESUMIDA

Esta tese está estruturada em seis partes, com esta introdução, concepção teórica e as considerações finais. Os outros três artigos apresentam os resultados dos objetivos específicos, com a descrição da sua metodologia própria, resultados e referências bibliográficas. Optou-se por esse formato, pois possibilita uma melhor leitura e compreensão do tema abordado, além de facilitar a publicação de artigos científicos para a divulgação dos conhecimentos produzidos.

Para a fundamentação teórica foi realizada uma revisão da bibliografia nacional e internacional, com consulta a livros, periódicos, relatórios institucionais, documentos públicos e estudos acadêmicos. Foram definidos os conceitos a serem utilizados durante todo o trabalho sobre a formulação de indicadores ambientais, experiências nacionais e internacionais sobre revitalização de cursos hídricos urbanos e o uso da lógica Fuzzy em estudos desta natureza.

No Artigo I é mostrado o processo metodológico utilizado para construção do Índice de Conservação Ambiental de Riachos Urbanos (ÍCARU). Os parâmetros foram pré-selecionados com base na literatura e validados por especialistas da área por meio de formulários eletrônicos e seguindo o método *survey*. Foi desenvolvido um Sistema Baseado em Regras Difusas (SBRD) para cálculo do ÍCARU, utilizando o *software* FuzzyGen, desenvolvido pela Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias (Embrapa).

O Artigo II apresenta um diagnóstico da qualidade da água de dois afluentes do rio Capibaribe: o riacho do Cavouco e o riacho do Parnamirim. Estes cursos d'água encontram-se em áreas totalmente urbanizadas da cidade do Recife. As coletas ocorreram nos anos de 2016 e 2017, e foram analisadas no laboratório Professor Aducto da Silva Teixeira da Agência Estadual de Meio Ambiente (CPRH). Assim, o IQA foi calculado visando o diagnóstico do estado químico dos riachos e subsidio para o cálculo do ÍCARU no capítulo posterior.

O Artigo III foi destinado à aplicação e validação da metodologia proposta para o cálculo do ÍCARU. Os dados utilizados referentes ao IQA e cobertura vegetal dos riachos do Cavouco e do Parnamirim, no Recife, foram determinados pelo autor.

Outros dados foram adquiridos de fontes secundárias, como documentos oficiais e artigos acadêmicos. Dessa forma, foi calculado do ÍCARU para os riachos.

Por fim, as considerações finais apresentam diretrizes para a revitalização de riachos do Cavouco e Parnamirim. Tais propostas se baseiam na concepção de infraestrutura verde e azul, e nas diretrizes da Diretiva Quadro da Água (DQA) da União Europeia, que adotam uma abordagem ecossistêmica com o intuito de que os corpos hídricos atinjam um estado de degradação mínima. As intervenções propostas são fundamentais para o reestabelecimento do potencial ecológico dos riachos do Cavouco e Parnamirim, com melhoria da qualidade da água e redução das pressões antrópicas. E sugerem-se novos estudos a partir da metodologia desenvolvida neste trabalho.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Ele vinha de longe, lavando a terra.
Corria em silêncio e se alongava.
Saudava as margens, seguia sem pressa,
Feito gato manhoso, ele se espichava.
(CPRH, 2018)

Com o intuito de realizar uma síntese da literatura especializada, neste capítulo serão apresentados os principais pressupostos teóricos referentes aos temas ligados ao objeto de estudo da pesquisa. Sendo eles: riachos urbanos, indicadores ambientais e a Lógica Fuzzy.

2.1 RIOS E RIACHOS URBANOS

No ciclo hidrológico, a água de rios, lagos e oceanos evapora para a atmosfera devido à radiação solar, que aquece a molécula e provoca uma expansão do seu volume e a diminuição da sua densidade, formando as nuvens. Conforme a diminuição da temperatura de acordo com a altitude na troposfera, as nuvens vão perdendo calor e ficam mais densas, provocando a precipitação, que pode ser na forma de chuva, neve ou granizo. Ao atingir o solo, a água infiltra até a capacidade de saturação e dá-se início ao escoamento superficial na bacia hidrográfica, formando os rios, lagos e oceanos.

O rio é um curso natural de água que se movimenta por meio da gravidade, dos pontos mais altos para os mais baixos do relevo, podendo desaguar em outro rio, em um lago ou no mar. Esses cursos d'água são formados a partir da chuva, do degelo em picos montanhosos ou do afloramento do lençol freático, dando origem à nascente. Quando um rio desagua em outro, o chamamos de afluente (TUCCI, 2015). Enquanto que os riachos são classificados como rios pequenos com possíveis áreas de inundação em períodos chuvosos (ESTEVES e ARANHA, 1999). Dependendo da região do Brasil, os riachos podem ser chamados de córrego (região Sudeste), arroio (região Sul) ou igarapé (região Norte).

Binder (1998) ressalta que a força das águas e a capacidade de transporte de um rio concorre para as modificações naturais no seu curso. As modificações físicas,

que ocorrem ao longo do tempo estão relacionadas à variação da vazão e promovem uma renovação contínua da morfologia típica do rio e das baixadas inundáveis. A dinâmica natural de um curso d'água sem alterações antrópicas significativas leva à formação de uma grande variedade de núcleos biológicos, estruturas e condições específicas que, em conjunto, determinam o ecossistema dos rios.

De acordo com Coy (2013), a disponibilidade de água constituía sempre um dos principais fatores para o estabelecimento definitivo e a localização específica de povoados humanos. Assim, a “teoria hidráulica” pode ser vista como uma das mais relevantes entre as diferentes teorias sobre o surgimento da cidade como forma de habitat humano, centro econômico e de poder. Daí, então, a relação vital entre rio e cidade, que permeia toda a história urbana até os dias atuais. O rio torna-se parte integrante da paisagem urbana, assim como a cidade pertence imprescindivelmente à paisagem fluvial.

Nesse contexto, o rio assume várias funções: ambientais, como a manutenção e equilíbrio do microclima, abriga espécies de flora e fauna e comunidades bióticas, promove o escoamento das águas pluviais; econômicas, que vão desde a utilização dos seus recursos como pesca, o transporte de pessoas e mercadorias e atividades turísticas; e sociais que compreendem a relação da sociedade com rio na contemplação da sua paisagem, lazer e até rituais religiosos (HERZOG, 2013; SARAIVA, 1999).

Portanto, define-se riacho urbano como curso d'água natural ou modificado em que sua nascente e desembocadura estejam margeados por infraestrutura urbana e que atendam funções ambientais, econômicas e sociais. Além disso, consideram-se rios com trechos urbanos, aqueles cursos d'água que possuem parte(s) do seu curso margeado por infraestrutura urbana e que atendam funções ambientais, econômicas e sociais.

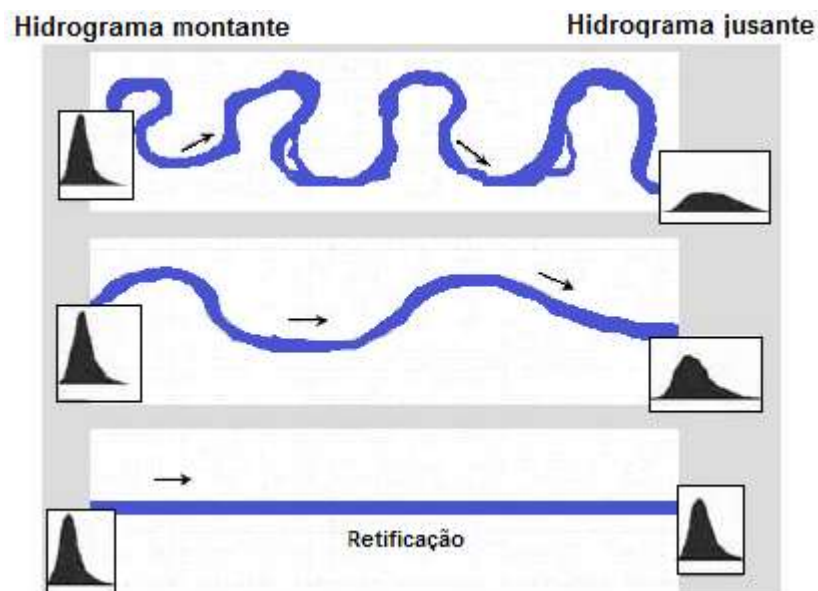
2.1.1 O contexto de degradação

A ineficiência de políticas públicas bem definidas, que resultaram em uma crise urbana com deficiências em habitação, transporte, saneamento e acesso ao solo urbano, corrobora para o aumento de moradias ilegais que ocupam áreas

impróprias. É o caso de ocupações em áreas de mananciais, encostas, Áreas de Preservação Permanente (APPs) e fundos de vale, ocasionando não só problemas urbanos, mas também problemas ambientais (REANI; SEGALLA, 2006).

A concepção para realização de obras hidráulicas e fluviais sempre esteve orientada na retificação do leito dos rios e córregos, encurtando seu caminho para uma maior vazão de escoamento em menor tempo. Ao submeter os riachos a processos de canalização e tamponamento são ocasionados alguns impactos, como poluição das águas, erosão das margens e assoreamentos (TUCCI, 2015; CARVALHO, SILVA e CABRAL, 2017). Pellegrino et al. (2006) acrescentam que a retificação e canalização do rio com muros de concreto fazem com que a relação entre rio e as margens inundáveis seja interrompida, aumentando a vazão de água e, conseqüentemente, contribuindo para a ocorrência de enchentes a jusante. Este fenômeno pode ser observado na Figura 1.

Figura 1 – Diferenças no amortecimento do hidrograma de cheias em razão de modificações no traçado do canal fluvial.



Fonte: Rio de Janeiro (2001).

Hodiernamente, o desenvolvimento sustentável é um dos principais pontos discutidos sobre o futuro das cidades. Projetos e planos de drenagem sustentável vêm sendo implantados por gestores e planejadores com o intuito de proporcionar melhorias nas condições ambientais e na qualidade de vida da população por meio

da minimização das inundações, do auxílio na drenagem dos aquíferos, da redução da velocidade dos escoamentos, do corte das fontes pontuais de poluição, do restabelecimento da biota, dentre outras.

Para estabelecimento desse plano e sua respectiva gestão, faz-se necessário uma sistematização integrada concomitante entre os diversos setores, articulando seus demais programas, leis ambientais, planos territoriais, planos municipais de urbanização, paisagísticos, plano diretor e a sociedade. Entende-se como necessários a aproximação e o diálogo tanto entre distintos setores de atuação (integração inter-setorial) quanto entre subsetores de um mesmo campo de ação (integração intra-setorial) (DINIZ, 2015; POMPEO, 2000).

Para Jacobi, Fracalanza e Silva-Sánchez (2015), a busca pela sustentabilidade ambiental nos grandes centros urbanos deve ter como premissa inicial o delineamento de políticas de recuperação de recursos hídricos. Os rios urbanos são provedores de importantes serviços ecossistêmicos, dentre os quais se destacam seus aspectos de quantidade, como regulação de cheias, e de qualidade, como purificação da água para o consumo (POSTEL; THOMPSON; BARTON, 2005).

Segundo Carvalho e Braga (2003), ao buscarmos uma urbanização de menor impacto e menos desnaturalizante, que possibilite o reencontro com a natureza das cidades, a revitalização e a naturalização de rios urbanos constitui, dessa forma, um novo paradigma da urbanização. Esses processos, quando necessários, tornam-se alternativas para um planejamento das cidades sustentáveis, incluindo o resgate das funções dos ecossistemas e minimização do estresse ambiental antropogênico.

2.1.2 Marco conceitual da recuperação/revitalização

Existem diversos conceitos para se referir aos processos que objetivam devolver aos mananciais boa qualidade, a recuperação do desempenho ecológico do rio e a obtenção de uma disposição mais próxima do seu estado natural. Termos como restauração, reabilitação, renaturalização e revitalização são frequentemente citados. Recentemente, outras definições vêm sendo utilizadas como *Water Sensitive Urban Design (WSUD)*, que se preocupa com o desenho urbano sensível

às águas e com a “adaptação baseada em ecossistemas”, que visa a adaptação às mudanças climáticas (AFONSO, 2011; BINDER, 1998; DINIZ, 2017; ROLO; GALLARDO; RIBEIRO, 2017).

A **restauração** de um ecossistema consiste em recuperar a área às condições mais próximas das originais. A restauração ecológica consiste na recuperação de um ecossistema degradado, considerando os seus aspectos naturais e a respectiva integração dos seus fatores bióticos e abióticos (SER, 2004). Segundo Booth et al. (2016), a restauração consiste na recuperação das condições sustentáveis de um rio e de suas funções e serviços ecossistêmicos depois de constatadas alterações naturais ou antrópicas que venham afetar a sua estrutura e impedir o seu restabelecimento.

De acordo com Findlay e Taylor (2006), a **reabilitação** de rios é representada por ações que possibilitem o retorno parcial das condições biológicas e físicas do rio a sua condição original. O termo reabilitação tem sido mais usado em ambientes contaminados com produtos químicos, como óleos e outros hidrocarbonetos, e que oferecem riscos à saúde da população. Na reabilitação, são recuperadas apenas algumas características do ambiente.

O processo de **renaturalização** permite recuperar os recursos hídricos às suas características naturais, possibilitando um aspecto natural, paisagístico e harmonioso da fauna e flora. Consiste, assim, na recuperação de rios por meio de manejo regular, evitando os usos antrópicos que inviabilizam as suas funções, de modo a regenerar o ecossistema, buscando o restabelecimento da sua biota natural, bem como a conservação das áreas naturais de inundação (BINDER, 1998).

Afonso (2011) afirma que “os processos de renaturalização dos rios são considerados mais complexos em relação a outras formas de resgate da qualidade dos rios como a revitalização”. Nesse processo, são utilizados materiais naturais na reconstrução do ecossistema aluvial, fazendo a recomposição dos substratos dos rios e de suas margens. O autor ainda destaca que a renaturalização envolve intervenções mais amplas, como a recomposição da biota aquática e melhoria da qualidade da água.

A **revitalização** consiste na preservação, conservação e na recuperação ambiental dos rios por meio de ações integradas que proporcionem a melhoria da qualidade da água para os usos múltiplos, bem como a melhoria das condições ambientais, o uso sustentável dos recursos naturais, a preservação das áreas naturais de inundação e impedimento de quaisquer usos que inviabilizem tal função (GARCIAS; AFONSO, 2013).

No Brasil, o movimento pela revitalização de rios e córregos urbanos inicia lentamente, mas vem-se disseminando para diversas cidades. Cabral et al. (2015) afirmam que existe um processo de mudança de paradigma em relação aos rios urbanos no Recife. Os autores destacam a priorização da revitalização de riachos no Orçamento Participativo, obras de requalificação das margens com construção de calçadas e ciclovias e uso desses espaços pela comunidade. Frischenbruder e Pellegrino et al. (2006) e Tângari et al. (2007) dizem que essas iniciativas difusas e distintas estão dentro do contexto da criação de infraestrutura azul e verde no meio urbano.

Ferreira e Machado (2010) definem infraestrutura verde como: uma rede de áreas naturais e áreas abertas (*open spaces*) fundamentais para o funcionamento ecológico do território, contribuindo para a preservação dos ecossistemas naturais, para a vida selvagem, para a qualidade do ar e da água e para a qualidade de vida dos cidadãos, sendo a infraestrutura azul aquela que integra as linhas de água, áreas adjacentes e cabeceiras, dentre outros corpos d'água. Herzog e Rosa (2010) afirmam que a infraestrutura verde e azul incorpora o *retrofit* (renovação) e a adaptação de infraestrutura existente.

Aborda-se, neste trabalho, o conceito de revitalização para os riachos urbanos do Recife para um curto e médio prazo. Pois, considerando o atual estágio de degradação de seus cursos d'água, tentar renaturalizá-los é uma tarefa bastante difícil. Já a ideia de revitalizá-los torna-se mais viável, pois pode-se conseguir ações pontuais que contribuam para a recuperação do ambiente aquático e de seus serviços ambientais.

Para tanto, Binder (2011) ressalta que:

[...] os diferentes interesses relativos à proteção à natureza e aos usos específicos da água e de áreas de baixada, devem ser levados em consideração logo no início do planejamento através da participação intensiva da sociedade civil envolvida, tais como, associações de pescadores ou de agricultores das áreas de baixadas afetadas.

Para a implementação de um processo de revitalização de um curso d'água, além dos conhecimentos sobre a dinâmica morfológica e do ecossistema como um todo, é necessário o apoio da população que convive com o rio. A comunidade que mais interage com a água, seja captação de água ou até mesmo o lançamento de esgoto, é a primeira a ser sensibilizada sobre a importância de recuperar características naturais do rio e de se estabelecer uma relação harmônica. A revitalização de um rio urbano possibilita melhor qualidade de vida à população.

2.1.3 Princípios para a recuperação/revitalização de rios e riachos urbanos

Para reestabelecer a integridade de corpos d'água é necessário pensar em componentes como a ecologia, a hidrologia, a geomorfologia e a qualidade da água de forma integrada (FINDLAY; TAYLOR, 2006; MARTINEZ, 2016; SILVA-SÁNCHEZ; JACOBI, 2014). Segundo Macedo e Magalhães (2011), a mudança no uso da água de um uso puramente sanitário para outros ligados ao lazer, criando condições estéticas mais favoráveis, promove uma maior integração do corpo d'água com a paisagem e a vida urbana, fazendo com que a população volte a se identificar com o corpo d'água.

Projetos de revitalização devem ter como diferencial não se limitar somente à condição sanitária do corpo d'água. A abordagem dos programas de revitalização deve manter uma visão holística, que leve em conta a integração dos processos que ocorrem na bacia, no corpo d'água e nas zonas ripárias (BRACHET; THALMEINEROVA, 2015; WARD et al., 2001). Além disso, não é possível realizar uma intervenção duradoura em um corpo d'água sem um forte suporte público (PETTS, 2007). Portanto, é preciso integrar um conjunto de variáveis, como por exemplo, as naturais, urbanísticas, sociais e de gestão ao processo de decisão (CARDOSO; BAPTISTA, 2013; PALMER et al., 2007; SEIDL; STAUFFACHER, 2013).

Portanto, a recuperação/revitalização de rios e riachos urbanos atingem duas vertentes: melhor gerenciamento estratégias de fluxo para águas pluviais urbanas, dado o importante papel do sistema de drenagem na condução da degradação dos cursos d'água urbanos (VIETZ et al., 2014); e melhor reconhecimento das várzeas - e seu papel hidrológico, geomórfico e ecológico - para planejar o seu uso sustentável (DAVIES, 2010; FRYIRS; BRIERLEY, 2013). Para tanto, a sociedade civil deve estar envolvida nesse processo desde o planejamento até o monitoramento do uso.

Os Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentável (SUDS) priorizam a instalação de dispositivos que retardam a chegada das águas no corpo d'água, resultando na redução da sua vazão de pico (ROY et al., 2008). Um melhor gerenciamento de águas pluviais urbanas na fonte, ou próximo à captação, resulta em diminuição do risco de enchentes e inundações, além de criar "paisagens verdes" e melhorar o microclima urbano (COUTTS et al., 2013).

As técnicas de manejo sustentável de águas pluviais urbanas são utilizadas em diversos locais ao redor do mundo. Elas são classificadas em estruturais - quando envolve alguma obra de engenharia - e não estruturais - ações políticas e sociais. São aplicadas nas escalas do terreno ou lote, nos espaços públicos, como ruas, avenidas, praças e passeios, e também na infraestrutura urbana como o sistema viário e de micro e macrodrenagem (REIS; ILHA, 2014; TORAN; JEDRZEJCZYK, 2017; BOCKHORN et al., 2017).

Outra forma de proteção de rios e riachos urbanos que vem sendo adotada em várias partes do mundo é o conceito de *greenways*, ou parque lineares. Essas estruturas urbanísticas criadas ao longo de cursos d'água têm como objetivos recuperar e conservar o ecossistema, conectar áreas verdes, abrigar práticas de lazer, esporte e cultura, além de, também, contribuir no controle de enchentes. O próprio termo *greenway* (caminho verde) é uma referência a corredores de vegetação onde transitam água, pessoas, animais e sementes. Uma forma sustentável de uso das áreas de fundo de vales (LARSON et al., 2016; MARTINEZ, 2016; SILVA-SÁNCHEZ; JACOBI, 2014).

Cengiz (2013) divide em três áreas os princípios para um desenho ecologicamente correto para áreas de várzea, sendo eles:

- Princípios gerais, onde há a previsão de metas ecológicas de desenvolvimento econômico, a proteção e restauração das características naturais dos rios, restauração da comunidade ribeirinha, promoção de medidas que atraiam a população para próximo do corpo d'água, como atividade de lazer ao ar livre e o envolvimento desta comunidade no processo de planejamento.
- Princípios de planejamento, onde é previsto a consolidação da relação entre a comunidade ribeirinha e o rio, conhecimento do ecossistema do rio, devido ao dinamismo dos rios minimizar o desenvolvimento humano nas várzeas, fornecer acesso público e recreação, promoção de eventos para a comemoração da história ambiental do rio a fim de criar uma relação entre o rio e a sociedade.
- Princípios do desenho, onde é prevista a proteção da função natural do rio, criação de zonas de proteção para áreas sensíveis, restauração das moradias dos ribeirinhos, uso de alternativas não estruturais para gestão dos recursos hídricos, reduzir as construções impermeáveis, priorizar o uso de abordagens não estruturais e a instalação de equipamentos de lazer de forma segura para o usuário.

No âmbito político-administrativo, as ações de recuperação/revitalização de um riacho urbano são empreendidas por diferentes secretarias, departamentos, e, inclusive, em diferentes níveis do governo. Quase sempre, implicam na remoção de moradias vulneráveis em área de risco, construção de novas habitações populares, obras de controle de erosão, de coleta e tratamento de esgoto e a própria despoluição do corpo hídrico, além do desenvolvimento e execução do projeto paisagístico associado às áreas de lazer e de trabalhos de educação ambiental (BHASKAR et al., 2016; SAENZ; HIRIART; LEÑERO, 2010; SILVA-SÁNCHEZ; JACOBI, 2014).

Considerando a diversidade de rios e riachos urbanos, quanto aos seus aspectos ecológicos e até mesmo o grau de degradação, uma única solução de revitalização

provavelmente será ineficaz (BOOTH et al., 2016). É preciso inferir as suas características pré-perturbação, por meio de uma investigação histórica, para entender o seu natural e qual é o anseio da população para ajudar a desenvolver estratégias apropriadas de recuperação ambiental (SAMMONDS; VIETZ, 2015).

2.1.4 Experiências mundiais e nacionais de renaturalização/revitalização de rios e riachos urbanos

A revitalização de rios urbanos e a disponibilização dos serviços desses ecossistemas para as cidades configuram-se como tendências mundiais que fazem parte da revisão do pensamento humano em relação à questão ambiental, salientando que a questão ambiental é, também, uma questão política e econômica (LISBOA, 2010). Por intermédio dessas técnicas de recuperação ambiental que já são adotadas em diversas partes do mundo, inclusive em algumas cidades brasileiras, é possível a mudança do cenário atual.

Garcias e Afonso (2013) fizeram um levantamento das principais experiências no mundo com renaturalização – que consiste na recuperação dos rios, evitando usos humanos, de forma a regenerar o ecossistema hídrico – e revitalização – que consiste na preservação, conservação e recuperação ambiental dos rios por meio de ações que garantam melhoria da qualidade da água e das condições ambientais, em geral desse ecossistema. Os autores citam experiências mundiais com renaturalização e revitalização de rios urbanos, sendo eles: Rio Isar ao sul da Bavária, Rio Tâmbisa ao sul da Inglaterra, Rio Socolowka na cidade de Lodz, Rio Cheonggyencheon em Seul (Figura 2), Rio Warta seu trecho evidenciado localiza-se na cidade de Poznan, Rio Reno (que banha a Suíça, França, Alemanha, Holanda) conhecido mundialmente por ser o terceiro maior rio Europeu, Rio Danúbio (definido por sua bacia hidrográfica ser internacional e conter 19 países), Rio Sena na França, Rio Anacostia em Washington, Rio Cuyahoga em Cleveland e Ohio e o Rio Mapocho localizado na região metropolitana de Santiago no Chile.

Figura 2 – Foto comparativa do processo de revitalização do rio Cheonggyecheon em Seul, Coreia do Sul, antes, durante e depois.



Fonte: Nansung (2019).

A Europa tem assumido um papel de protagonista na recuperação dos seus rios urbanos. Desde os anos 2000, com a publicação da Diretiva Quadro da Água (DQA) da União Europeia, que estabelece o objetivo de atingir o bom estado das águas, os países europeus têm desenvolvido projetos de intervenção nos rios com objetivo de regenerá-los o mais próximo possível do ecossistema natural e preservar as suas áreas de inundação.

Algumas das experiências mundiais com renaturalização e revitalização de rios urbanos podem ser observadas no Quadro 1.

Quadro 1 – Experiências mundiais com renaturalização e revitalização de rios urbanos.

Rio	Principais problemas	Principais ações
Isar (Alemanha)	Poluição difusa de áreas agrícolas; mudanças morfológicas por canalizações.	A retirada dos diques de concreto amentando a capacidade de retenção e reduzindo enchentes a jusante. O concreto removido criou novos habitats para melhorias das funções ecológicas do rio.
Reno (Europa)	3º maior rio europeu, convive com várias fontes de poluição.	Plano de recuperação estabelecido em 1987 incluiu luta contra a poluição, retorno do salmão ao rio em 2000, a redução de 50 a 70% das emissões mais fortes em 1995, monitoramento da qualidade da água e prevenção de acidentes.
Sena (França)	Atividades industriais e forte pressão urbana e carga difusa da produção agrícola.	Revitalização visando não apenas os aspectos de qualidade de água, mas também a qualidade dos habitats da bacia, com implantação de várias medidas de caráter técnico e ambiental.
Cheonggyecheon (Seul)	Rio canalizado e tamponado transformado em autoestrada.	Restauração histórica e cultural do centro de Seul, demolição das estruturas de concreto e criação de uma estação de água, de tratamento de efluentes, projetos de paisagismo e iluminação, obras de controle de cheias, além do retorno do rio ao convívio da cidade.
Tâmisa (Inglaterra)	Cheias e crises sanitárias, baixa diversidade biológica e aquática.	Construção de duas grandes estações de tratamento de esgotos, com incinerador para destinação final do lodo das estações com geração de energia.

Fonte: Adaptado de Rollo, Gallardo e Ribeiro (2017).

No Brasil, praticamente todos os rios das cidades estão poluídos. Fato agravado pelo descontrole da ocupação de suas margens, principalmente pela população de baixa renda, sem nenhuma proteção sanitária e que contribuem para a insalubridade dos ambientes urbanos. Apesar da gravidade da ocupação irregular, esta por sua vez, não é primazia da classe de vulnerabilidade econômica. Em algumas cidades, o que se vê são prédios dos mais diversos tipos de usos ocupando irregularmente as margens dos rios onde foram suprimidas as faixas de proteção e também a mata ciliar (GARCIA; AFONSO, 2013).

Algumas das experiências brasileiras com projetos de renaturalização e revitalização de rios urbanos podem ser observadas no Quadro 2.

Quadro 2 - Experiências Brasileiras com renaturalização e revitalização de rios urbanos.

Rio	Principais problemas	Principais ações
Mosquito (Minas Gerais)	Graves problemas de saneamento e histórico de veiculação hídrica de doenças.	Ações de educação ambiental e implementação de soluções para os problemas de esgotamento sanitário.
Tijuco Preto (São Paulo)	Fontes pontuais de poluição de esgoto doméstico e fontes difusas.	Projeto de recuperação que incluiu aspectos funcionais do sistema lótico, com soluções sistêmicas integrando drenagem urbana, paisagismo e funcionalidade ecológica.
Das Velhas (Minas Gerais)	Não apresentado.	Projeto Manuelzão: reconstrução de habitats para a biodiversidade, plantio de espécies nativas para recomposição de margens e construção de várias estações de tratamento de esgoto.
Tietê (São Paulo)	Processos de urbanização Comprometeram a qualidade da água.	Projeto Pró-Tietê: mancha de poluição do rio recuou 120 km e redução do lançamento de 1 bilhão de L de esgoto/dia, promovendo a volta da pesca em alguns dos seus trechos.
São Francisco (banha 7 estados Brasileiros)	Usos múltiplos.	Programa de revitalização do São Francisco em 2001 fez recomposição das funções ambientais dos ecossistemas e mobilização da sociedade, com práticas de educação ambiental. Atendeu ainda demandas de esgotamento sanitário controle de processos erosivos, resíduos sólidos e pequenas obras.

Fonte: Adaptado de Rollo, Gallardo e Ribeiro (2017).

Os projetos de revitalização de rios urbanos no Brasil, na maioria dos casos, têm como principal ação o tratamento do esgoto sanitário, que é sem dúvidas o principal agente de degradação. Entretanto, o grande desafio é reverter toda a infraestrutura de drenagem higienista que ocorreu nos anos 1950 e 1960, que aterrou e canalizou vários rios nas cidades brasileiras. A impermeabilização do solo também é outro fator que deve ser revertido para promover a infiltração da água e favorecer grandes benefícios ao ciclo hidrológico e à população.

2.2 INDICADORES AMBIENTAIS

O desenvolvimento de indicadores ambientais iniciou-se no final da década de 1980 no Canadá e em alguns países da Europa. Ganhou mais impulso após a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, no Rio de Janeiro, em 1992, em decorrência da aprovação da Agenda 21, que tinha a missão de monitorar os avanços em direção ao desenvolvimento sustentável e, para isso, se

faziam necessários instrumentos para medi-los. Esta foi a grande motivação para o desenvolvimento de trabalhos com a finalidade de criar e planejar o uso de indicadores ambientais e de desenvolvimento sustentável (CEPAL, 2001; WU; WU, 2012).

De acordo com Benetti (2006), um indicador é uma ferramenta desenvolvida para obter informações referentes a uma dada realidade, tendo como característica principal a capacidade de sintetizar um conjunto complexo de informações, restando apenas o significado essencial dos aspectos analisados. De uma forma mais ampla, SESI-PR (2010) conceitua indicadores como:

Variáveis definidas para medir um conceito abstrato, relacionado a um significado social, econômico ou ambiental, com a intenção de orientar decisões sobre determinado fenômeno de interesse. Indicadores funcionam como um termômetro, permitindo balizar o entendimento e o andamento das ações e são fundamentais para avaliar os objetivos, metas e resultados propostos, quantitativa e qualitativamente. (SESI-PR, 2010:11).

Os indicadores têm a capacidade de descrever um estado ou uma resposta dos fenômenos que ocorrem em um meio. Surgem como auxiliares nas tomadas de decisões, fundamentando as argumentações mediante o fornecimento das informações dos processos. O relevante é que o indicador seja um instrumento que permita a percepção, por meio de um valor, de dado fenômeno ou de uma condição de modo simplificado, compreensível e comparável.

Os indicadores também têm sido utilizados como ferramenta padrão, auxiliando na compreensão das informações sobre fenômenos complexos, em diversos estudos nacionais e internacionais, pois permite medir e avaliar as consequências das atividades antrópicas no ecossistema (DANZ et al., 2005; SILVA; CORREIA; CÂNDIDO, 2010; PROBST; STELZENMULLER, 2015). São ferramentas essenciais de suporte no processo de tomada de decisão e formulação de políticas ambientais, favorecendo o monitoramento das mudanças do estado da qualidade ambiental ao longo do tempo (GOMES; MALHEIROS, 2012; SHINY; SHANNON, 2010).

As características desejáveis e mais importantes dos indicadores são: simplicidade e clareza – o indicador deve ser de fácil obtenção e compreensão,

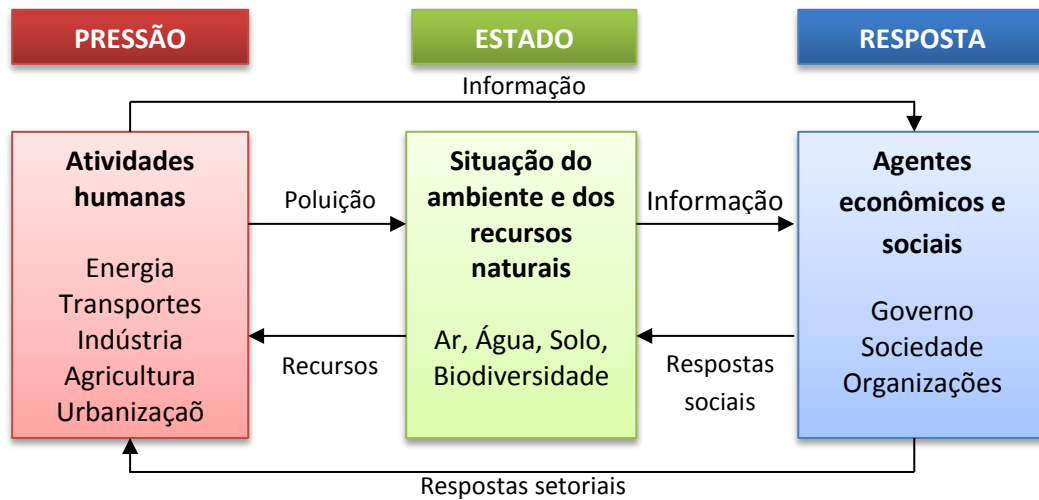
possibilitando a transmissão da mensagem de modo claro e preciso; devem estar disponíveis ou ser de fácil acesso, devendo-se considerar as limitações para sua obtenção, seja pelo custo de produção, pela escala de representatividade, bem como a sua capacidade de compartilhamento nos níveis locais, regionais e nacional; e a facilidade de comparação entre o indicador e os referenciais apropriados é fundamental e depende de sua representatividade (CARVALHO, 2009; BÖHRINGER; JOCHEM, 2007; SANTOS et al., 2017).

Os indicadores não são a solução para qualquer análise, dada a complexidade e incerteza dos ecossistemas. Eles apenas cumprem com sua função de simplesmente indicarem os caminhos para avaliação, para a discussão e para a percepção do ambiente, cabendo a quem os utiliza realizar as demais etapas. Portanto, um indicador ou um sistema de indicadores devem ser cuidadosamente selecionados pela sua capacidade de medir o que se pretende, por sua confiabilidade e por sua capacidade de reproduzir os mesmos resultados quando aplicados em condições similares.

2.2.1 O modelo Pressão-Estado-Resposta (PER)

A Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) foi uma das organizações pioneiras no desenvolvimento de indicadores ambientais, iniciando um programa específico em 1990 mediante demanda do G-7 em 1989. Esse programa adotou como princípio que não há apenas um grupo de indicadores, uma vez que os indicadores mais úteis serão sempre função de seus objetivos. A OCDE, então, criou o método Pressão-Estado-Resposta (PER) (Figura 3) como um sistema de indicadores ambientais e de desenvolvimento sustentável (OECD, 2003).

Figura 3 – Esquema do modelo Pressão-Estado-Resposta.



Fonte: adaptado de OECD (2003).

O método de PER se baseia no conceito de causalidade, segundo o qual as atividades humanas exercem pressão sobre o ambiente, alterando a qualidade e a quantidade de recursos naturais, ou seja, alterando o seu estado. Dessa forma, a sociedade responde a essas mudanças mediante políticas ambientais, econômicas ou setoriais. É um sistema para monitorar o estado do meio ambiente a partir das relações de causa-efeito, incluindo as respostas sociais frente às perturbações produzidas (BAL-DOMANSKA, 2017; NERI; DUPIN; SANCHEZ, 2016; WOLFSLEHNER; VACIK, 2008).

Os três grupos chaves de indicadores do método PER estão descritos a seguir:

a) Pressão – descreve as pressões exercidas pelas atividades humanas sobre o meio ambiente e sobre os recursos naturais. Entende-se, aqui, por “pressões” aquelas subjacentes ou indiretas (ou seja, a atividade propriamente dita e as tendências importantes do ponto de vista ambiental), assim como as pressões imediatas ou diretas (ou seja, a utilização de recursos e o lançamento de poluentes e de resíduos). Podem ser traduzidos por indicadores de emissão de contaminantes, eficiência tecnológica, intervenção no território e de impacto ambiental.

b) Estado – Refere-se à qualidade do meio ambiente e à qualidade e quantidade dos recursos naturais. Refletem, assim, o objetivo final das políticas ambientais e visam fornecer uma visão geral do estado do meio ambiente e de sua evolução no tempo. A esta categoria pertencem as concentrações de poluentes nos diversos meios, o excesso de cargas críticas, a exposição da população a certos níveis de poluição ou a um ambiente degradado, o estado da fauna e da flora e as reservas de recursos naturais.

c) Resposta – avalia as respostas da sociedade às alterações e preocupações ambientais, bem como a adesão a programas e/ou à implementação de medidas em prol do ambiente; podem ser incluídos neste grupo os indicadores de adesão social, de sensibilização e de atividades de grupos sociais importantes. Eles remetem às ações e reações individuais e coletivas visando: atenuar ou evitar os efeitos negativos das atividades humanas sobre o meio ambiente, ou a isso adaptar-se, impor um limite às degradações já infligidas ao meio ambiente ou remediá-las, e conservar e proteger a natureza e os recursos naturais.

O sistema PER foi inicialmente desenvolvido para fornecer apoio à elaboração de políticas públicas ambientais (NERI; DUPIN; SANCHEZ, 2016). Atualmente, esse sistema é usado em vários países para estudar as condições de saúde dos ecossistemas. Por exemplo, Hughey et al. (2004) estudaram as percepções das pessoas sobre o estado do ambiente da Nova Zelândia usando o quadro PER. Levrel et al. (2009) selecionaram indicadores PER para a gestão da biodiversidade em uma reserva da biosfera na França. Souza e Silva (2014) utilizaram o modelo PER na avaliação da qualidade das praias no estado da Bahia, Brasil.

A grande vantagem do sistema PER é o de ser recomendado pela OCDE e pela maior parte das organizações das Nações Unidas, o que permite comparações de indicadores ambientais no nível internacional. Outra vantagem é o seu desenvolvimento, pois prioriza a manifestação dos problemas, facilitando a comunicação e o acesso às informações. As desvantagens apontadas são de que, além de não considerarem metas de qualidade ambiental, não proporcionam informações sobre as funções ecológicas e as estruturas dos ecossistemas. Por se

basearem exclusivamente em dados existentes, focalizam apenas o que está ocorrendo, o que leva, preferencialmente, às políticas corretivas e de curto prazo.

2.2.2 Indicadores e índices ambientais para rios e riachos urbanos

Na literatura existe uma variedade de estudos que propõem indicadores e índices para avaliar os sistemas hídricos e ambientais urbanos. Como mencionado, boa parte dos trabalhos são voltados à avaliação dos cursos d'água urbanos pelo viés da sustentabilidade ou por mapas temáticos específicos. O *Urban River Basin Enhancement Methods (URBEM)*, projeto financiado pela União Europeia, propõe 91 indicadores para avaliar esses ecossistemas submetidos a projetos de revitalização, divididos nas dimensões ambiental, social e econômica (URBEM, 2004).

Nesta perspectiva, Palmer et al. (2005) sugeriram cinco critérios para avaliar o sucesso de projetos de recuperação ecológica de rios urbanos e, assim, forneceram indicadores adequados. Os autores relatam que eram gastos bilhões de dólares na restauração de cursos d'água urbanos, mas não havia padrões estabelecidos para avaliar os benefícios do projeto. Os critérios eram: uma imagem guia de um rio saudável que pudesse existir no local; a condição ecológica do rio; a sustentabilidade e resiliência do sistema fluvial; o controle de impactos durante a execução da obra; e, por fim, a disponibilização das informações da avaliação.

Em outro trabalho, Palmer, Hondula e Koch (2014) sugerem critérios e indicadores para avaliar a eficácia da restauração de estruturas e funções ecológicas. Os atributos avaliados são: a estrutura biótica e física, e as funções físicas, biológicas e de estabilidade. Os autores listaram 22 indicadores que foram usados na avaliação. A complexidade de alguns indicadores como “produção primária”, dinâmica de nutrientes, “índice de integridade biológica”, por exemplo, poderiam inviabilizar o uso da metodologia, tendo em vista a escassez desses dados no Brasil.

Outra metodologia propõe a análise da morfologia do canal fluvial, identificação de trechos degradados e apoio à escolha de melhores alternativas de revitalização. Esses trabalhos utilizam mais indicadores físicos como: largura e

rugosidade do canal, magnitude e frequência do escoamento, volume e tipo de sedimento, vegetação e detritos lenhosos no canal propostos por Booth e Fischenich (2015); sinuosidade e declividade do canal, impermeabilização da área de várzea (TÁNAGO et al., 2015); revestimento do canal, risco de inundação, processos erosivos nas margens (POMPEO; RIGOTTI; FREITAS FILHO, 2011). Cardoso e Baptista (2013) propõem um modelo multicriterial para avaliar a melhor alternativa de intervenção.

Outro método como protocolos de avaliação visual também são propostos para diagnóstico e análise da condição de cursos d'água urbanos. Geralmente, utiliza-se um formulário com a descrição de características de cada indicador em que o aplicador deverá estabelecer uma nota (BJORKLAND; PRINGLE; NEWTON, 2001; RAMOS et al., 2017; RIGOTTI; POMPÊO; FONSECA, 2016). Essa metodologia apresenta uma resposta rápida e pode ser utilizada em alguns casos precisos. Entretanto, ela enfrenta críticas, pois depende sempre de uma avaliação subjetiva e não utiliza dados científicos e ou documentos oficiais (DOLL et al., 2016).

Saenz, Hiriart e Leñero (2017) construíram um sistema de indicadores para avaliar a recuperação do rio Magdalena, no México, usando 11 indicadores estratégicos em que a centralidade está relacionada à qualidade da água, participação social e coordenação do Governo. A escolha dos indicadores foi realizada por especialistas a partir de uma lista preliminar, considerando a efetividade, facilidade, relevância, clareza e pertinência. Os autores sugerem que a elaboração de um sistema de indicadores deve ser considerada para avaliar se os objetivos de recuperação do rio urbano foram efetivados.

Zang et al. (2019) desenvolveram um índice para avaliar a saúde de rios urbanos com base no sistema Pressão-Estado-Resposta (PER). Foram utilizados 20 indicadores, como, por exemplo: a intensidade de aplicação de pesticidas e fertilizantes, emissões de esgoto sanitário, índice de qualidade da água, índice de diversidade de peixes, parques lineares, taxa de investimento em proteção ambiental em relação ao PIB, entre outros. Os indicadores foram inseridos em um Sistema Baseado em Regras Difusas (SBDR) e o índice foi calculado. Uma aplicação no rio Jialu, na China, com dados de 2008 a 2017, mostrou uma melhora

na sua saúde e validou o SBDR como uma importante ferramenta de monitoramento e apoio à decisão.

Através da utilização de indicadores ambientais, deve ser possível a análise das condições, mudanças da qualidade ambiental, além de favorecer o entendimento das interfaces da sustentabilidade, bem como de tendências como uma ferramenta de suporte no processo de tomada de decisão e formulação de políticas e práticas sustentáveis (GOMES; MALHEIROS, 2012; PROBST; STELZENMULLER, 2015), pois os indicadores têm como função diagnosticar a saúde do ecossistema e fornecer uma ferramenta para monitorar condições e mudanças ambientais ao longo do tempo (JORGENSEN, 2005; SHINY; SHANNON, 2010). Entretanto, é preciso adequar o sistema de indicadores conforme a necessidade local, disponibilidade de informações e resultados.

2.3 LÓGICA FUZZY

A lógica fuzzy é a lógica baseada na teoria dos conjuntos fuzzy, apresentada por Lofti Zadeh em 1965 (ZADEH, 2009). Ela difere dos sistemas lógicos tradicionais que tratam as informações de modo binário pois, na fuzzy, o raciocínio exato corresponde a um caso limite do raciocínio aproximado, sendo interpretado como um processo de composição de relações nebulosas. Zadeh, então, apresentou o conceito de conjuntos difusos, em que seria possível armazenar dados não precisos em computadores para obtenção de respostas baseadas em informações ambíguas (GOMIDE et al., 2014).

Na Lógica Fuzzy, uma premissa varia em grau de verdade, ou grau de pertinência, de “0” a “1”, o que leva a ser parcialmente verdadeira ou parcialmente falsa. Neste aspecto, os sistemas de base Fuzzy têm habilidade de raciocinar de forma semelhante à dos humanos. Seu comportamento é representado de maneira muito simples e natural, levando à construção de sistemas compreensíveis e de fácil manutenção. Devido a essa propriedade e à capacidade de realizar inferências, a Lógica Fuzzy tem encontrado grandes aplicações em várias áreas do conhecimento (BARROS; BASSANEZI; LODWICK, 2017).

2.3.1 Conjuntos Fuzzy

Na teoria clássica de conjuntos, o conceito de pertinência de um elemento a um conjunto é bem definido, de modo que para um conjunto A em um universo U, o elemento apenas pertence ou não pertence àquele conjunto. Na teoria de conjuntos fuzzy essa pertinência pode assumir infinitos valores no intervalo [0,1] e representado por pares ordenados conforme Equação 1.

$$A = \left\{ \frac{\mu_A(x)}{x} \right\} \quad x \in U \quad (1)$$

Onde:

$\mu_A(x)$: representa o grau de pertinência de x com o conjunto A;

A: conjunto fuzzy;

x: a variável de interesse;

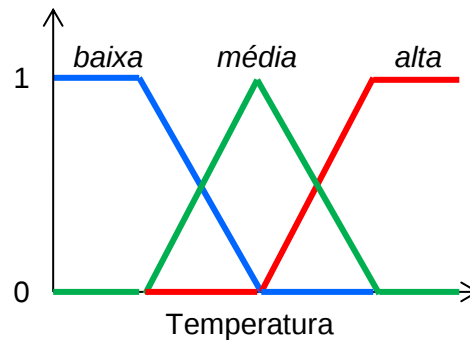
U: universo de discurso.

Além disso, um elemento pode pertencer a mais de um conjunto fuzzy com diferentes graus de pertinência. Ou seja, não existe uma fronteira definida para os elementos que compõem o conjunto, por isso, também é chamada de lógica nebulosa.

2.3.2 Variáveis linguísticas

São variáveis que representam cada conjunto dentro do universo do discurso. As variáveis linguísticas são variáveis que permitem a descrição de informações que estão normalmente disponibilizadas de forma qualitativa, ou seja, são variáveis cujos possíveis valores são palavras ou frases, ao invés de números, podendo ser representadas mediante um conjunto fuzzy (PEDRYCZ; GOMIDE, 1998). Por exemplo, a temperatura da água pode ser uma variável linguística com valores: *baixa*, *média* e *alta*, conforme mostrado na Figura 4:

Figura 4 – Exemplo de variável linguística em conjuntos fuzzy.



Fonte: O Autor (2019).

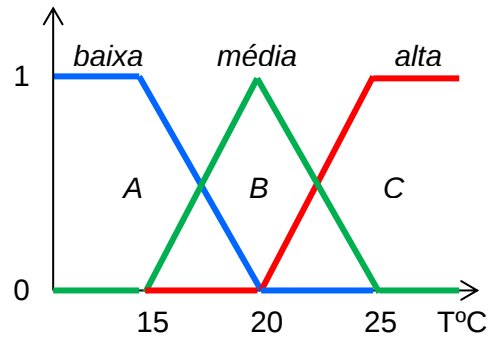
A cada variável linguística de entrada devem ser atribuídos termos linguísticos que representam os estados desta variável. Além disto, deve-se associar um conjunto fuzzy a cada termo linguístico de entrada por meio de uma função de pertinência. Por exemplo, a variável linguística “Temperatura” pode ter o conjunto de termos linguísticos {*baixa*, *média*, *alta*}, sendo que cada termo linguístico representa um conjunto fuzzy específico.

As variáveis linguísticas têm a função de fornecer uma forma sistemática para as descrições aproximadas dos fenômenos complexos ou mal definidas, utilizando um tipo de descrição linguística similar ao empregado pelos seres humanos. Isso permite o tratamento de sistemas muito complexos para serem analisados por meio de cálculos matemáticos.

2.3.3 Função de pertinência

A função de pertinência (FP) é uma função numérica que atribui valores de pertinência fuzzy para valores discretos de uma variável em seu universo de discurso. São definidas a partir da experiência e da perspectiva do usuário, e de especialistas, dependendo do conceito que se deseja representar e do contexto em que serão utilizadas (BARROS; BASSANEZI; LODWICK, 2017). Para exemplificar o quanto o contexto é importante na definição das funções de pertinência, considere a variável linguística temperatura, constituídas pelos termos linguísticos $T = \{\text{baixa}, \text{média}, \text{alta}\}$ correspondentes aos conjuntos fuzzy A, B e C, e cada uma definido por uma função de pertinência (Figura 5):

Figura 5 – Exemplo de funções de pertinência em conjuntos fuzzy.

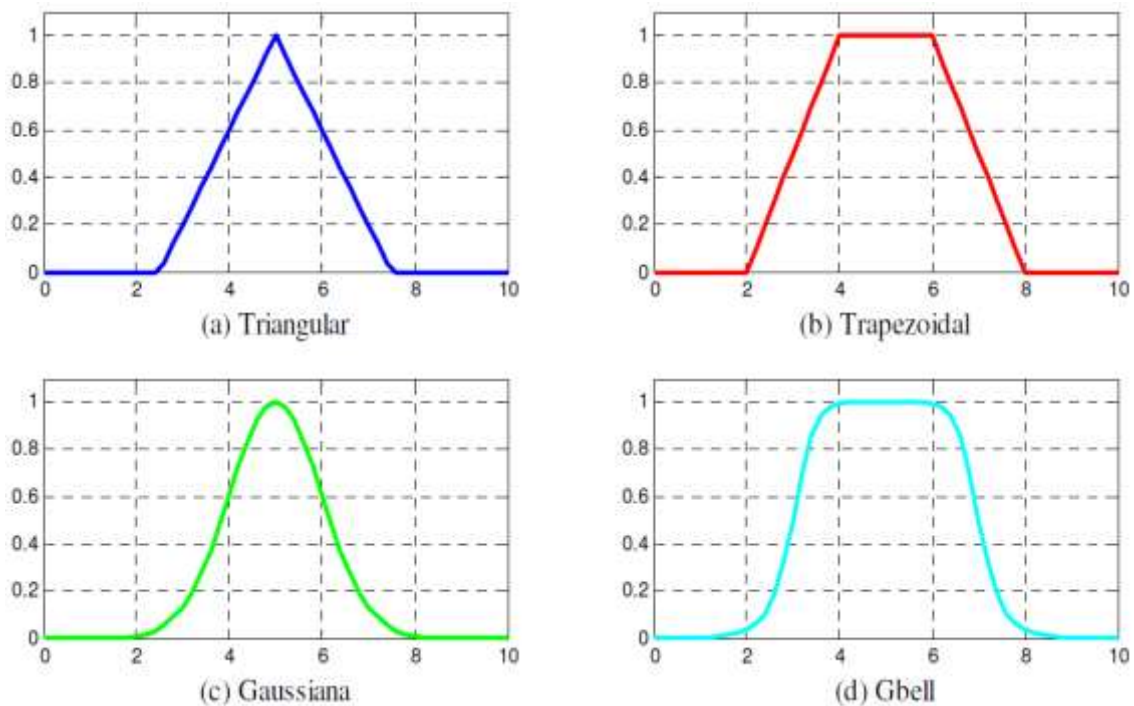


Fonte: O Autor (2019).

Na figura 5, a temperatura até 15°C apresenta um grau de pertinência igual a 1 no conjunto A, então, à medida que a temperatura aumenta, o grau de pertinência nesse conjunto decresce; para uma temperatura de 20°C é totalmente incompatível no conjunto A e compatível no conjunto B, e uma temperatura acima de 25°C apresenta grau de pertinência diferente de 0 em C. O contexto é importante na definição das funções de pertinência e suas distribuições ao longo do seu universo de discurso, as quais são determinadas pelas noções que podem ter diferentes pessoas do contexto.

As funções de pertinência podem ter diferentes formas e as mais utilizadas são a sigmoideal, sino, trapezoidal, triangular e gaussiana, conforme Figura 6. São definidas com base na experiência e perspectiva do especialista e podem ser alteradas visando a melhoria dos resultados (GOLDSCHMIDT, 2010).

Figura 6 – Funções de pertinência (a) Triangular, (b) Trapezoidal, (c) Sigmoidal e (d) função de Bell.

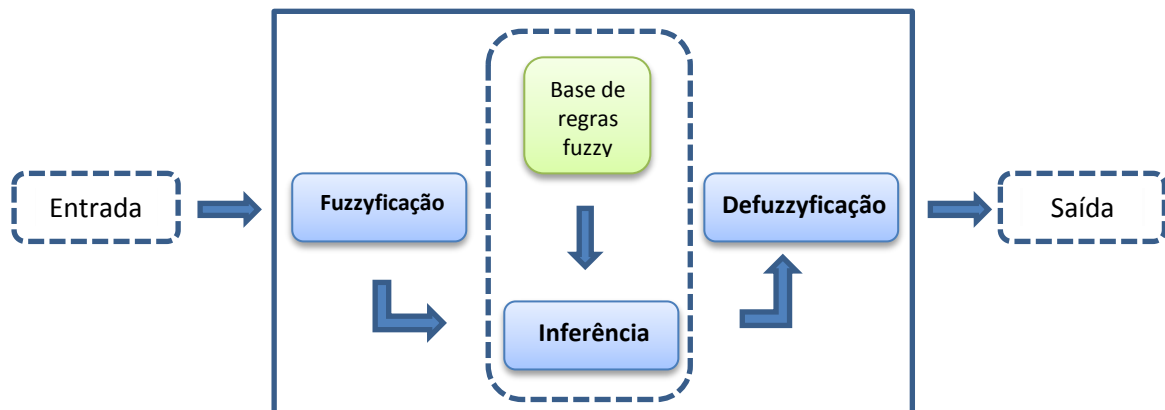


Fonte: PUC-Rio (2018).

2.3.4 Sistema de inferência fuzzy

O sistema de inferência fuzzy, ou controlador fuzzy, é um modelo que permite a identificação dos módulos que compõem tal sistema, fornecendo a ideia do fluxo de informação. Basicamente, é composto por três etapas: fuzzificação, inferência e defuzzificação, conforme mostrando na Figura 7 (BARROS, BASSANEZI e LODWICK, 2017).

Figura 7 – Esquema básico controlador fuzzy.



Fonte: adaptado de Barros, Bassanezi e Lodwick (2017).

1) Fuzzyficação – Nesta etapa os valores das variáveis de entrada (precisas ou crisps), faz um escalonamento para condicionar os valores a universos de discurso normalizados e fuzzyfica os valores, transformando números em conjuntos fuzzy, de modo que possam se tornar instâncias de variáveis linguísticas. Nesta etapa, ocorre a análise do problema, definição das variáveis e das funções de pertinência e a criação das regiões (GANGA; CARPINETTI; POLITANO, 2011).

2) Inferência – Procedimento no qual os dados fuzzy de entrada são processados de acordo com as regras, de modo a inferir as ações de controle fuzzy, aplicando o operador de implicação fuzzy e as regras de inferência da lógica fuzzy. Ou seja, cada proposição fuzzy é traduzida “matematicamente” por meio das técnicas da lógica fuzzy. A base de regras é estabelecida previamente, caracterizando a estratégia de controle e suas metas. A base de dados armazena as definições necessárias sobre discretizações e normalizações dos universos de discurso, as partições fuzzy dos espaços de entrada e saída e as definições das funções de pertinência.

3) Defuzzyficação – Consiste em transformar as ações de controle fuzzy inferidas em ações de controle não-fuzzy. Em seguida, efetua-se um escalonamento, de modo a compatibilizar os valores normalizados vindos da etapa anterior com os valores dos universos de discurso reais das variáveis. Existem vários métodos de defuzzyficação na literatura: dois dos mais empregados são o centro de gravidade e a média dos

máximos. Neste, a saída precisa é obtida, tomando-se a média entre os dois elementos extremos no universo que correspondem aos maiores valores da função de pertinência do consequente. Com o centro de gravidade, a saída é o valor no universo que divide a área sob a curva da função de pertinência em duas partes iguais.

O controlador fuzzy funciona em conformidade com as três etapas descritas anteriormente de fuzzyficação, inferência e defuzzyficação. Primeiramente, na inferência são mapeados os conjuntos fuzzy e 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 fuzzyficação gerando os conjuntos fuzzy de entrada e, posteriormente, esses conjuntos são defuzzyficados para fornecer a saída de informações precisas.

A entrada para o sistema pode ser um valor preciso (quando deriva de um processo de medição) ou um conjunto fuzzy (geralmente quando provém de um observador humano ou na forma de uma base de dados, como por exemplo, os questionários). Conforme Ganga, Carpinetti e Politano (2011), variáveis linguísticas são valores expressos qualitativamente por termos linguísticos - que fornecem um conceito às variáveis - e quantitativamente por uma função de pertinência.

Após o sistema baseado em regras difusas proposto por Zadeh, outros pesquisadores passaram a desenvolver aplicações práticas a partir da década de 1970. Existem descritos na literatura diversos modelos de sistemas fuzzy, mas os mais conhecidos são o modelo de Mamdani e o de Takagi-Sugeno. A diferença entre os modelos se dá no “consequente” das regras, ou seja, na saída das informações.

O modelo Mamdani utiliza conjuntos fuzzy nos “consequentes” das regras fuzzy. Neste modelo, a saída da etapa de inferência é representada por um conjunto fuzzy, que é o resultado da agregação das saídas inferida por cada uma das regras, a qual na seguinte etapa gera uma saída exata utilizando um dos métodos de defuzzyficação já mencionados. A característica básica do modelo Mamdani é o fato que tanto os antecedentes como os consequentes são mapeados com conjuntos fuzzy. Por exemplo, uma regra típica num modelo Mamdani é da seguinte forma (MAMDANI, 1977):

SE erro é “Grande” **E** a Derivada de Erro é “Pequena” **Então** Torque é “Alto”.

No modelo de Takagi-Sugeno, o consequente de cada regra é representado em função das variáveis de entrada e a saída final de todas as regras é determinada pela média ponderada das saídas geradas por cada uma das regras. Nesse caso, o coeficiente de ponderação é definido pelos graus de ativação das regras principais. A fuzzificação das entradas com a aplicação dos operadores fuzzy é feita de igual forma que no modelo Mamdani, com a diferença que a saída é uma função linear ou constante. Uma regra típica de um modelo Sugeno é da seguinte forma (SUGENO; KANG, 1986):

SE erro = x **E** a Derivada de Erro = y **Então** Torque é $T_i = a.x + b.y + c$.

Mamdani versus Sugeno: por proporcionar uma representação mais compacta e eficiente computacionalmente do que o sistema Mamdani, o sistema Sugeno permite a utilização de técnicas adaptativas para a construção de modelos fuzzy, a exemplo da possibilidade de customização das funções de pertinência, favorecendo, assim, uma maior aproximação do sistema fuzzy ao comportamento real dos fenômenos que se deseja modelar (FAGUNDES, 2015).

2.3.5 Aplicação da Lógica Fuzzy

A lógica fuzzy aplica os conjuntos fuzzy em tomadas de decisão e programas computacionais. É utilizada em muitos sistemas de controle de engenharia, sistemas especializados, inteligência artificial e aplicações como reconhecimento de voz e *softwares* de processamento de imagem – buscando minimizar a intervenção humana necessária em um sistema e aproximar o julgamento humano (ROONEY, 2012). A lógica fuzzy tem sido aplicada em sistemas de câmeras digitais, máquinas de lavar, operação de trens, operações de distribuição de água e na área social e ambiental.

Alguns trabalhos sugerem um índice de qualidade da água para rios baseado em modelagem fuzzy. (EWAID; HUSSEIN; EMRAN, 2018; GHARIBI et al., 2012;

OLIVEIRA et al., 2014). No método, classificações tradicionais de qualidade de água são transformadas em formas contínuas e, então, os valores das concentrações dos diferentes parâmetros são somados usando a regra fuzzy. Após essa soma, a mesma é “defuzzificada” para desenvolver os valores dos índices. Sedeño-Díaz e López (2016) sugeriram um Índice de Qualidade da Água para reservatórios de abastecimento na bacia do rio Basin, no México, usando um sistema de inferência fuzzy composto por 633 regras, com uma pontuação de 0 a 100 e sete categorias verbais.

Para os solos, Rodriguez et al. (2016) desenvolveram um índice para avaliar a qualidade dinâmica dos solos agrícolas em relação às suas características físicas, químicas e biológicas. Os autores concluíram que o sistema desenvolvido permite estimar as alterações induzidas no solo devido ao uso, o que é útil para avaliar sistematicamente a sustentabilidade das práticas agrícolas. Silva et al. (2013) afirmaram que a lógica fuzzy possibilita uma alternativa para criar mapas de vulnerabilidade à erosão costeira e se diferencia dos modelos analíticos clássicos que são definidos diretamente por uma fórmula e um limiar considerado inflexível quando comparado com a lógica fuzzy.

Devido à complexidade do conceito de sustentabilidade, vários pesquisadores estão utilizando a lógica fuzzy como método de avaliação e apoio à decisão em diferentes áreas: geração de energia renovável (ACAR; BESKESE; TERMUR, 2018; BITTER et al., 2016; ZHAO; LI, 2016); plantas e processos industriais (JAYAWICKRAMA; KULATUNGA; MATHAVAN, 2017; BOTTANI; GENTILOTTI; RINALDI, 2017; NALLUSAMY et al., 2016); urbanização (HAIDER et al., 2018); indicadores de sustentabilidade escolar (GAVIÃO; LIMA, 2015), entre outras. Santos et al. (2017) afirmam que o sistema baseado em regras difusas se mostrou adequado para avaliar a sustentabilidade de atividades de pecuária em ecossistemas complexos.

A lógica Fuzzy também tem sido aplicada em estudos de rios: Solana-Gutiérrez et al. (2017) utilizaram a lógica Fuzzy para desenvolver mapas cognitivos visando prever respostas ao manejo de rios na Espanha. Masanvi et al. (2016) desenvolveram um processo analítico hierárquico fuzzy para avaliar a estrutura paisagística dos vales dos rios para sustentabilidade urbana no norte de Teerã, no

Irã. Bernhardt e Palmer (2011) apresentaram propostas de avaliação da eficácia de projetos de restauração fluvial utilizando a lógica Fuzzy.

Na área social, Gao, Shi e Zhai (2018) avaliaram o desempenho da governança ambiental urbana através do desenvolvimento de um processo de rede analítica difusa e hesitante. O sistema de índices construído levou em consideração casos urbanos de governança ambiental em Xangai, na China, atestando sua viabilidade. Carmona, Fuentes e Ruiz (2016) também utilizam a lógica fuzzy para avaliação da governança corporativa.

O crescente número de aplicações bem-sucedidas da lógica fuzzy e da teoria dos conjuntos fuzzy para lidar com a incerteza, imprecisão e subjetividade inerentes às avaliações da qualidade ambiental e o desenvolvimento recente de novos procedimentos baseados na lógica fuzzy para o estabelecimento de índices de qualidade ambiental abrem novas maneiras de realizar mais estimativas mais rigorosas e realistas da qualidade ambiental. Neste trabalho, apresenta-se uma proposta para a avaliação da conservação ambiental de riachos urbanos.

3 RESULTADOS

Os resultados serão apresentados na forma de artigos científicos que foram enviados para publicação em periódicos.

3.1 ARTIGO 1 – MODELO FUZZY PARA AVALIAÇÃO DA CONSERVAÇÃO AMBIENTAL DE RIACHOS URBANOS

*Um homem que veio de longe
parou, olhou, pensou, fez fotos
Anotou tudo no livro, fez fotos
mas ali no rio... a sujeira continuou.*
(CPRH, 2018)

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; PALMER, 2007; FRISCHENBRUDER; PELLEGRINO, 2006; MARTINEZ, 2016; WHOL; ANGEMEIER; KONDOLF, 2005).

O *Urban River Basin Enhancement Methods (URBEM)*, foi um projeto 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; FREITAS FILHO, 2011; TUCCI, 2017; ZHANG et al., 2019).

Apesar da disponibilidade de uma lista com diversos 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; SAXENA, 2018; 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.

Neste contexto, a lógica Fuzzy pode oferecer um método adequado, de fácil implementação e que contribui para o conhecimento sobre questões ambientais complexas (BARROS; BASSANEZI; LODWICK, 2017; SALES; GOMES; 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 capítulo 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 direcionarem ações para a conservação dos riachos urbanos.

2 Metodologia

2.1 Seleção de Indicadores

A seleção prévia de indicadores partiu de uma 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 e Jochem (2007), sendo eles: simplicidade e clareza, disponibilidade do dado, baixo custo de obtenção e facilidade de aplicação.

Foram pré-selecionados 15 indicadores e construído um questionário *Survey* (PINSONNEAULT; 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 e Securato (1997). O questionário foi desenvolvido utilizando a ferramenta *Google Forms* e enviado para especialistas em cursos d'água urbanos com publicações na área (Apêndice A). 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 consultados (Apêndice B). 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; LÉTOURNEAU, 2018; ZHANG et al., 2019).

2.2 Controlador Fuzzy

Após a validação dos parâmetros a serem 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; 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 definição (Equação 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 pelas Equações 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 pela Equação 5.

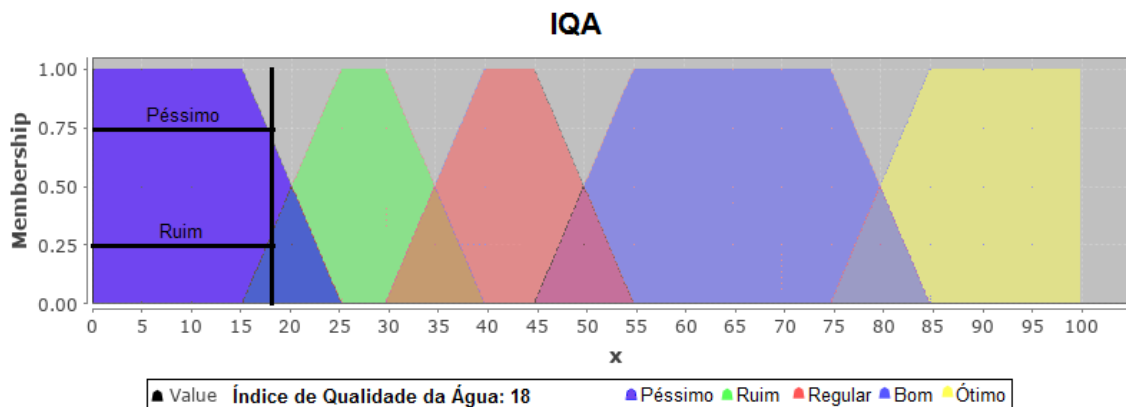
$$\tilde{A}(h) = \{x; (\mu_{\tilde{A}}(x) \geq h) : x \in X; h \in [0,1]\} \quad (5)$$

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 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: “péssimo”, “ruim”, “regular”, “bom” e “ótimo”. E para resposta: “adequado”, “aceitável” e “inadequado”. Por exemplo: Se o valor de entrada do IQA for igual a 18, o grau de pertinência é 0,25 ao “ruim” e 0,75 ao “péssimo”. Este processo pode ser visualizado na Figura 1:

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



Fonte: O Autor (2019).

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 se 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 deste indicador; então, o valor “normalizado” $N(v_i)$ é calculado da seguinte forma:

Se o valor alvo $T(v_i)$ corresponde a um máximo, conforme a Equação 6.

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

Se o valor alvo $T(vi)$ corresponde a um mínimo, conforme a Equação 7.

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

Se $T(vi)$ corresponde ao intervalo $[\min(Tv), \max(Tv)]$, conforme a Equação 8.

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

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 Equação 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 pertence 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 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 e, 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 SBRD 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 SBRD (LIMA; MASSRUH, 2009). O *software* é desenvolvido na linguagem de programação Java e fornece uma interface amigável para definir as partes essenciais de um SBRD (CINGOLANI; ALCALÁ-FDEZ, 2012), que permite aos usuários mensurar o ÍCARU para um riacho urbano ou realizar simulações e construir cenários.

Foram feitas, no SBRD, 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 validade dos modelos em relação aos dados.

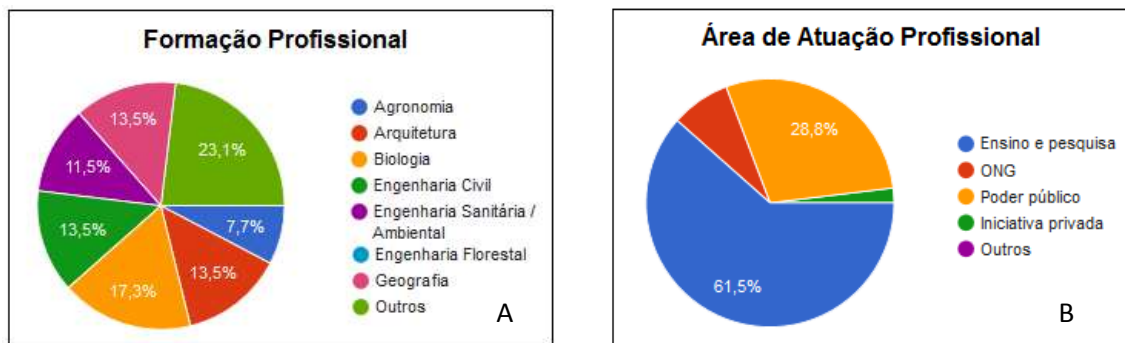
3 Resultados e discussão

3.1 Indicadores

Foram recebidas 52 respostas ao questionário aplicado com especialistas em rios urbanos de diversas áreas de conhecimento e atuação profissional (Figura 2). A confiabilidade do questionário apresentou um coeficiente Alfa de Cronbach de 0,76,

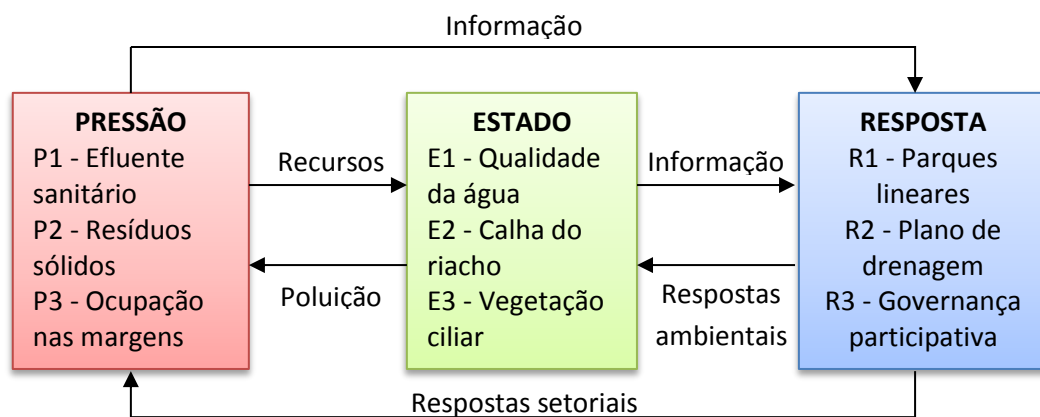
considerado como nível aceitável. O desvio padrão médio das respostas foi de 0,75, considerando a escala atribuída de 1 a 5. Os nove indicadores selecionados e classificados no sistema PER podem ser visualizados na Figura 3. A Tabela 1 apresenta características dos indicadores, necessárias para o desenvolvimento do controlador fuzzy e cálculo do ÍCARU.

Figura 2 – Formação (A) e área de atuação profissional (B) dos participantes da pesquisa *survey*.



Fonte: O Autor (2019).

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



Fonte: O Autor (2019).

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 um rio urbano na China.

Tabela 1 – Características dos indicadores que compõem o Índice de Conservação Ambiental de Riachos Urbanos. (continua...)

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.

Tabela 1 – Características dos indicadores que compõem o Índice de Conservação Ambiental de Riachos Urbanos. (continuação)

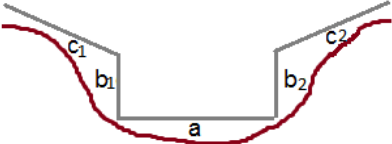
Dimensão	Indicador	Unidade de Medida	Fórmula de Cálculo	Variável Fuzzy	Referência
Estado	E2 – Leito do riacho	Escala de 0 a 25	$PLR = (a + b1 + b2 + c1 + c2)$ Onde: PLR: Permeabilidade do leito do riacho a: fundo; b1 e b2: paredes; c1 e c2: taludes  Para o fundo e paredes: 0 – Revestimento impermeável 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.
	E3 – Vegetação ciliar	%	$CV = \left(\frac{A_{cv}}{A_t} \right) \times 100$ Onde: CV: % de cobertura vegetal arbustiva e arbórea na faixa de APP do trecho do riacho. A_{cv}: área de cobertura vegetal arbustiva e arbórea na faixa de APP do trecho do riacho. A_t: área total da faixa de APP do trecho do riacho.	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	%	$PL = \left(\frac{A_{pl}}{A_t} \right) \times 100$ Onde: PL: % de área com parque linear*. A_{pl}: área com parque linear na faixa de APP do trecho do riacho. A_t: área total da faixa de APP do trecho do riacho.	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.

Tabela 1 – Características dos indicadores que compõem o Índice de Conservação Ambiental de Riachos Urbanos. (conclusão)

Dimensão	Indicador	Unidade de Medida	Fórmula de Cálculo	Variável Fuzzy	Referência
Resposta	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.

P1 - Efluente sanitário: O lançamento de esgoto sanitário sem tratamento é apontado com 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, 2017). A matéria orgânica lançada nos cursos d'água consome o oxigênio dissolvido, inviabilizando a vida aeróbia, ocasiona outros problemas como a eutrofização, sedimentação de lodo e contaminação por microrganismos patogênicos presente 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 resíduos 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). Podendo, também, 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; 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 (IQA): O 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, 2014). 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 informações 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; OLIVEIRA, 2018).

E2 – Permeabilidade da calha 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 entre 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 provocam erosões a jusante (CARVALHO; SILVA; 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. Além disso, a ausência de rugosidade diminui o movimento turbulento e a oxigenação da água (BINDER, 1998). Este 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 esta o hábitat da fauna terrestre e aquática, produção 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 retenção de sedimentos e processos de absorção de nutrientes pelas raízes (KAGEYAMA; GANDARA, 2001; LAFORTEZZA, 2013).

R1 - Parques lineares: Parques lineares, ou *greenways*, são intervenções urbanísticas construídas ao longo de cursos d'água, projetados e manejados 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; PINTO, 2017; SOARES; BONZI; 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; ERASLAN; YILMAZ, 2012). Projetos 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 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 (BOCKHORN et al., 2017; REIS; ILHA, 2014; TORAN; JEDRZEJCZYK, 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 no 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; GONÇALVES, 2012; JACOBI, 2012). Atualmente, é incorporada a este conceito a forma pela qual o governo exerce o seu poder. Neste contexto, a governança é um importante instrumento para a participação democrática da população nos Governos (GROTE; GBIKPI, 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).

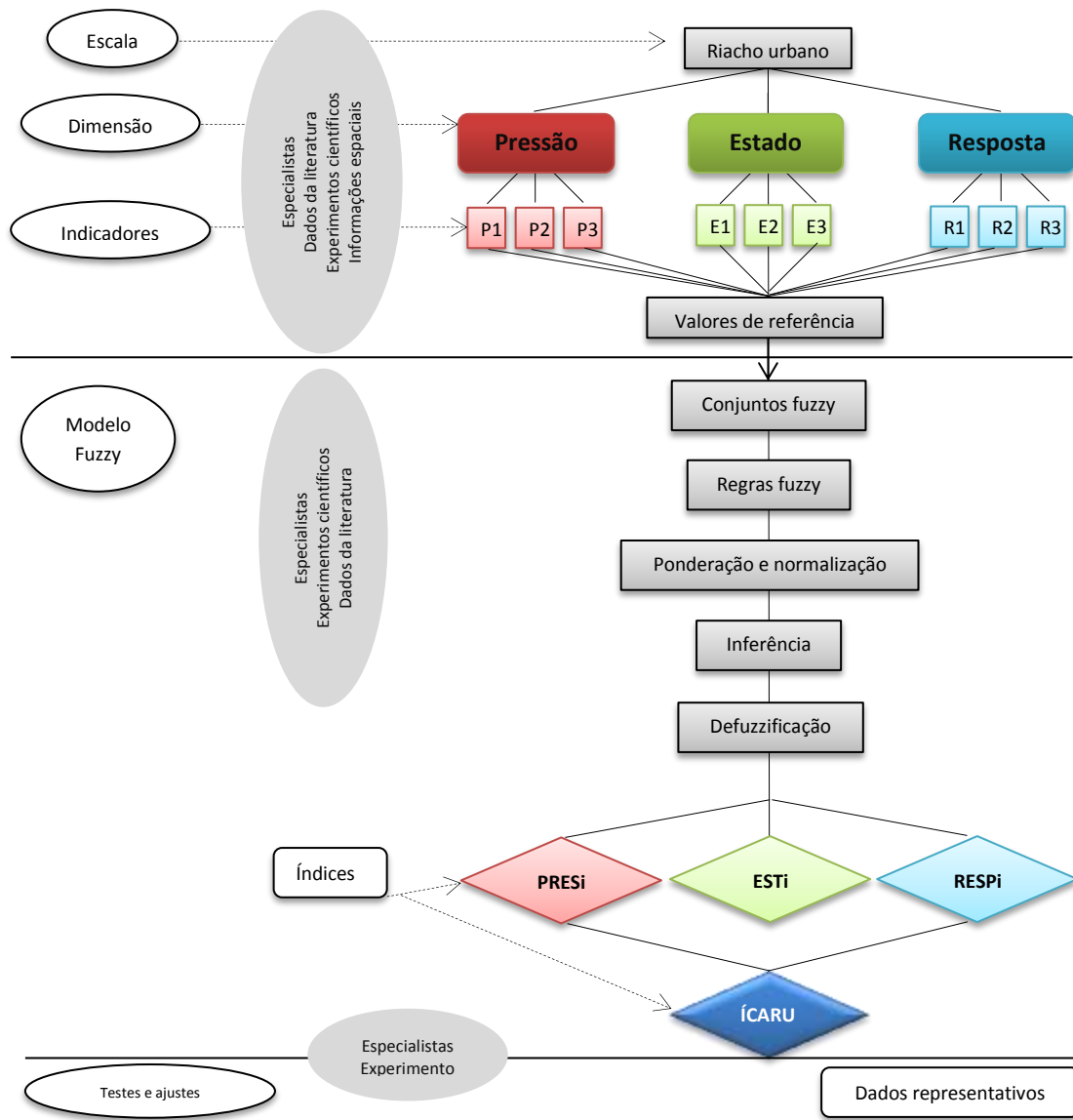
De acordo com Palmer et al. (2007), que realizou uma revisão dos projetos de revitalização de rios nos EUA, os projetos que obtiveram melhores resultados foram aqueles onde havia o envolvimento da população residente na bacia referente ao projeto. A importância ainda deve ser dada à heterogeneidade existente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

3.2 Controlador fuzzy

Como os indicadores foram agrupados no sistema PER, foram estabelecidas regras fuzzy para cada grupo. Criou-se 125 regras (5^3) para o sub índice Pressão (PRESi), 125 (5^3) para Estado (ESTi) e 27 (3^3) para Resposta (RESPi). Na inferência do ÍCARU, agregando os três sub índices (PRESi + ESTi + RESPi), elaborou-se mais 75 regras, totalizando 352 na base de regras fuzzy (Apêndice C). A estrutura do controlador fuzzy (SBDR) para calcular o ÍCARU pode ser visualizada na Figura 4.

Na defuzificação do ÍCARU foi estabelecido uma escala de 0 a 10, e classificado em 5 níveis de conservação (Figura 5): **Ótimo (8-10)** – o riacho urbano possui características ecológicas bem próximas das originais e permite o uso sustentável das suas margens; **Bom (6-8)** – o riacho urbano possui características ecológicas um pouco diferentes das originais e permite o uso sustentável das suas margens; **Regular (4-6)** – o riacho urbano possui características ecológicas um pouco diferentes das originais e suas margens apresentam partes impermeabilizadas; **Ruim (2-4)** – o riacho urbano possui características ecológicas comprometidas e suas margens apresentam partes impermeabilizadas; e **Péssimo (0-2)**: o riacho urbano possui características ecológicas comprometidas e suas margens estão impermeabilizadas.

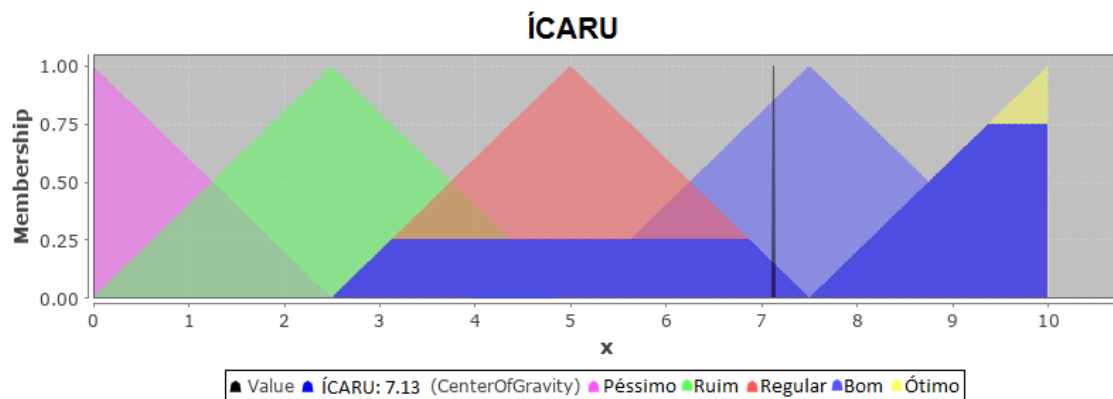
Figura 4 – Estrutura do Sistema Baseado em Regras Difusas para cálculo do Índice de Conservação de Riachos Urbanos – ÍCARU.



Legenda: 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.

Fonte: baseado em Santos et al. (2017).

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



Fonte: O Autor (2019).

Esse modelo proposto pode ser utilizado pelos diversos atores como apoio à decisão sobre a revitalização e 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 maneira, a sociedade pode monitorar a conservação de um riacho e, juntamente com o poder público, efetivar medidas para melhorar os indicadores locais. A interface do SBRD em aplicação web pode ser visualizado no Apêndice D.

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 que a incerteza seja modelada de acordo com as complexidades do ecossistema de um riacho urbano.

Como em toda tentativa de colocar indicadores para uma realidade muito complexa, essa ferramenta é reducionista e tende a simplificar o ecossistema dos riachos urbanos. Contudo, a metodologia permite a melhoria adaptativa do ÍCARU com alteração das regras e números *crisp* dos conjuntos fuzzy. Assim como, incluir ou excluir indicadores, desde que validados por especialistas, analisado a interferência nos outros indicadores e criadas novas regras. O ajuste pode ser

realizado sempre que ocorram avanços no conhecimento e disponibilidade de dados sobre os indicadores propostos.

4 Considerações finais do capítulo

Riachos urbanos são ecossistemas complexos e dinâmicos que estabelecem conectividades com outros sistemas naturais, urbanos e sociais. São ambientes que, historicamente, sofrem degradação com o estrangulamento e impermeabilização do seu leito, supressão da vegetação ciliar e 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, se mostrou 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 testados. O ÍCARU torna-se relevante para realizar o diagnóstico do ambiente, orientar o processo de tomada de decisão e subsidiar a elaboração de políticas públicas que visem a revitalização e conservação de riachos urbanos.

5 Referências

ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária. **Ranking ABES da Universalização do Saneamento**. 2019. 105 p. Disponível em: http://abes-dn.org.br/pdf/Ranking_2019.pdf. Acesso em: 07 jun. 2019.

BARROS, L. C.; BASSANEZI, R.C.; LODWICK, W. A. **A First Course in Fuzzy Logic, Fuzzy Dynamical Systems, and Biomathematics**. Springer, 2017. 299 p.

BENNETT, N. J. Using perceptions as evidence to improve conservation and environmental management. **Society Conservation Biology**, v. 30(3), p. 582-592, 2016. DOI: 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. DOI:10.1111/j.1365-2427.2006.01718.x.

BERNHOF, R. A. Mercury toxicity and treatment: a review of the literature. **Journal of Environmental and Public Health**, v. 2012, 2012, 10 p. DOI: <http://dx.doi.org/10.1155/2012/460508>.

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

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. DOI:10.1023/a:1010743124570.

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. DOI: <https://doi.org/10.1080/1573062X.2015.1076860>.

BÖHRINGER, C.; JOCHEM, P. E. P. Measuring the immeasurable - a survey of sustainability indices. **Ecological Economics**, v. 63, p. 01-08, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.03.008>.

BOURDIN, A. **A questão local**. Rio de Janeiro: DP&A, 2001. 240 p.

CARVALHO, A. T. F.; SILVA, O. G.; CABRAL, J. J. 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. Disponível em: https://www.revistageociencias.com.br/geociencias-arquivos/36/volume36_1_files/36-1-artigo-06.pdf. Acesso em: 08 set. 2018.

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

COSTA, A. B. et al. Desenvolvimento e aplicação de índices de qualidade da água. **Caderno de Pesquisa Serie Biologia**, v. 24, n. 1, p. 67- 78, jan./abr. 2012.

CPRH – Agência Estadual de Meio Ambiente de Pernambuco. **Quem vai salvar o rio?** Recife: CPRH, 2018. 38p.

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. et al. Establishment and application of the index system for urban river health assessment. **Acta Ecol. Sin**, v. 34, p. 993-1001, 2014. DOI:10.3390/w11061190.

EMPINOTTI, V. L.; JACOBI, P. R.; FRACALANZA, A. P. Transparência e a governança das águas. **Estud. Avançados**, v. 30, n. 88, set./dez. 2016. DOI: <http://dx.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, Rome, n. 2, ILC, 2012. 62 p.

FINDLAY, S. J.; TAYLOR, M. P. Why rehabilitate urban river systems? **Area**, v. 38, n. 3, p. 312-325, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1475-4762.2006.00696.x>.

FRISCHENBRUDER, M. T. M.; PELLEGRINO, P. Using greenways to reclaim nature in Brazilian cities. **Landscape and Urban Planning**, n. 76, p. 67-78, 2006. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2004.09.043.

GOLDSCHMIDT, R.R. **Uma Introdução à Inteligência Computacional**: fundamentos, ferramentas e aplicações. Rio de Janeiro: IST-Rio, 2010. 142 p.

GONZÁLEZ DEL TÁNAGO, M.; GARCÍA DE JALÓN, D. **Restauración de Ríos**. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, 2007. 318 p.

GROTE, J. R.; GBIKPI, Bernard (ed.). **Participatory governance**. Political and societal implications. Opladen: Leske + Budrich, 2002. 277 p.

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. DOI: <http://dx.doi.org/10.2307/1468176>.

HIRST, P. Democracy and governance. In: J. Pierre (Org.). **Debating governance**: authority, steering and democracy. New York: Oxford University Press, p. 13-35, 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. DOI: <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. 343-361.

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. DOI: 10.9734/BJAST/2015/14975.

KAGEYAMA, P. Y.; GANDARA, F.B. Recuperação de áreas ciliares. In: RODRIGUES, R.R.; LEITÃO FILHO, H.F. (ed.). **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. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.09.028>.

KOOIMAN, J. Governance. A social-political perspective. In: GROTE, J. R; GBIKPI, B. (Eds.). **Participatory governance**. Political and societal implications. Opladen: Leske + Budrich, p. 71-96, 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. DOI: <http://dx.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. DOI: <https://doi.org/10.3832/for0723-006>.

LIMA, H. P.; MASSRUH, A. S. M. F. S, **Sistema FuzzyGen**: Manual Do Usuário. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2009, 24 p.

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. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/sn/v23n1/05.pdf>. Acesso em: 15 set. 2018.

MARTÍNEZ, P. C. El árbol en el ecosistema urbano: relaciones entre nuevo urbanismo, sociedad y gestión racional del riesgo. **Ing. Univ.**, Bogotá, v. 20, n. 1, jan./jun. 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.11144/Javeriana.iyu20-1.tuec>

OECD – Organisation for Economic Co-operation and Development. Environmental Indicators. **Development, Measurement and Use - Reference Paper**. 2003. Disponível em: <<http://www.oecd.org/env/>> Acesso em: jun. 2019.

_____. **Water Governance Indicators and Measurement Frameworks**. OECD Water Governance Initiative. 2015. Disponível em: http://www.oecd.org/gov/regional-policy/Inventory_Indicators.pdf. Acesso em: 06 jun. 2019.

OLIVEIRA, G. 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. DOI: <http://dx.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. et al. 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. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2007.00244.x>. Acesso em: 18 set. 2018.

PINSONNEAULT, A.; KRAEMER, K. L. Survey research in management information systems: an assesement. **Journal of Management Information System**, v. 10, p. 75-105, 1993. DOI: 10.1080/07421222.1993.11518001.

PIRES, Roberto R. C. (org.). **Efetividade das instituições participativas no Brasil: estratégias de avaliação**. 4^a edição. Brasília: IPEA, 2011. 372 p.

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>. Acesso em: 06 jun. 2019.

REIS, R. P. A.; ILHA, M. S. 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. DOI: 10.1590/S1678-86212014000200006.

ROY, A. H. et al. Impediments and solutions to sustainable, watershed-scale urban stormwater management: lessons from Australia and the United States. **Environmental Management**, v. 42, n. 2, p. 344-359, 2008. DOI: 10.1007/s00267-008-9119-1.

SALES, R. J. 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**, n. 194, p. 104-118, jan./abr. 2014. DOI: 10.4322/dae.2014.007.

SANTOS, S. A. et al. 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. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.04.076>.

SEIDL, R.; STAUFFACHER, M. Evaluation of river restoration by local residents. **Water Resources Research**, v. 49, p. 7077-7087, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/2013WR013988>.

SINGH, P. K.; SAXENA, S. Towards developing a river health index. **Ecological Indicators**, v. 85, p. 999-1011, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.11.059>.

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.

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. DOI: 10.2113/gseegeosci.23.2.113.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia Ciência e Aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2015. 944 p.

_____. Indicador de Sustentabilidade Hídrica Urbana. **REGA**, v. 14, e. 7, 2017. DOI: 10.21168/rega.

URBEM – Urban River Basin Enhancement Methods. **New techniques for urban river rehabilitation**: How to re-naturalise flow regimes Recommendations. v. 8, mar. 2004.

VILLANUEVA, A. O. N. et al. Gestão da drenagem urbana, da formulação à implementação. **Rega**, v. 8, n. 1, p. 05-18, 2011. DOI: 10.21168/rega.

VON SPERLING, M. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**. 4. ed. 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. et al. Urban River Health Analysis of the Jialu River in Zhengzhou City Using the Improved Fuzzy Matter-Element Extension Model. **Water**, v. 11, Issue 1190, 2019. DOI:10.3390/w11061190.

ZIMMERMANN, H. J. **Fuzzy set theory and its applications**. Springer Science & Business Media, 2011. 514 p.

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. DOI: 10.4322/dae.2018.027.

3.2 ARTIGO 2 – ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA DOS RIACHOS DO CAVOUÇO E PARNAMIRIM, RECIFE-PE.

Mas houve um dia nos dias
em que o rio amanheceu diferente:
estava escuro, sem brilho...
rio triste, traído, doente!

- Quem vai salvar o rio?
Pedia socorro, o único peixe que restou.
Fazia um apelo, estava em desespero
aquele valente, que da morte escapou.
(CPRH, 2018)

1 Introdução

À medida que as cidades se desenvolvem, a ocupação das margens dos rios também avança. Como são áreas mais baixas e susceptíveis a inundações, normalmente são terrenos mais desvalorizados pela indústria imobiliária e mais ocupados por pessoas em situação de vulnerabilidade econômica (SILVA et al., 2016). E, nessa disputa por espaço na cidade, os cursos d'água tem sido aterrados e, muitas vezes, retificados e canalizados para compor estruturas de drenagem. Essa estrutura aumenta a vazão de água, entretanto, ocasiona a ocorrência de enchentes a jusante (TUCCI, 2015).

Outro fator de degradação dos rios em áreas urbanas é o lançamento de resíduos sólidos e de esgoto *in natura*. A ausência ou precariedade dos sistemas públicos de saneamento nas grandes e pequenas cidades tem ocasionado impactos negativos e, muitas vezes, irreversíveis aos cursos d'água. A matéria orgânica presente nos esgotos, ao ser lançada no rio, inicia o processo de decomposição, ocorrendo o consumo do oxigênio dissolvido (OD) da água. Sem OD, os rios perdem a vida aquática aeróbia, composta por peixes e outros organismos. Além disso, a proliferação de doenças é outro fator preocupante (VON SPERLING, 2014).

De modo lamentável, o padrão de configuração espacial da cidade do Recife, no Estado de Pernambuco, virou as costas aos ambientes naturais que integram a paisagem urbana. Basta ver a transformação de ecossistemas frágeis como manguezais, matas e estuários em edificações, como na bacia do rio Capibaribe.

Alguns riachos do Recife tiveram trechos aterrados ou canalizados para a drenagem pluvial (CABRAL; PREUSS; FONSECA NETO, 2014). O sistema de saneamento básico é deficitário, sendo coletado e tratado apenas 42% do esgoto doméstico (SNIS, 2018). O restante é lançado *in natura* nos cursos d'água que cortam a cidade.

O monitoramento da qualidade ambiental de rios e riachos no Brasil está associado ao Índice de Qualidade de Água (IQA) (VON SPERLING, 2007). Esse índice é composto por parâmetros químicos, físicos e biológicos, foi adaptado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo e é utilizado por quase todos os estados brasileiros. Existem vários trabalhos acadêmicos que usaram o IQA para avaliar a qualidade da água de rios, riachos e reservatórios, sendo recomendado como um bom indicador (CARVALHO et al., 2016; DALMAS et al., 2015; PIRATOBA et al., 2017; QUINATTO et al., 2018).

Este estudo apresenta uma avaliação da qualidade da água por meio do IQA para os riachos do Cavouco e do Parnamirim, localizados na cidade do Recife-PE. As coletas foram realizadas entre os anos de 2016 e 2017 em três pontos de amostragens em cada riacho. Os resultados encontrados integrarão o Índice de Conservação de Riachos Urbanos (ÍCARU) e poderão oferecer subsídios para a integração entre sociedade e poder público para a adoção de medidas de revitalização desses cursos d'água.

2 Metodologia

2.1 Caracterização da área de estudo

2.1.1 Riacho do Parnamirim

O riacho Parnamirim é um afluente do baixo Capibaribe e está localizado nos bairros de Casa Forte e Parnamirim, Zona Norte do Recife. Da sua antiga nascente no Monteiro até a rua Jerônimo Pimentel em Casa Forte, o riacho Parnamirim está totalmente tomado por construções sobre o seu leito, não sendo possível identificar se o riacho está canalizado ou se foi totalmente aterrado. De acordo com Braga et al. (2009), o Parnamirim mede 1.170 m de extensão, possui uma largura média de 5

m - sendo considerado estreito -, declividade média de 0,00139 m/m e uma área de drenagem de 153,2 ha.

No trecho entre a rua Jerônimo de Albuquerque e a rua Dr. Samuel Lins existe uma vegetação mais densa composta por frutíferas de grande porte como jaqueiras, mangueiras, ingazeiros e, também, bananeiras. No trecho após a ponte sob a rua Samuel Lins até a rua Amaro Lafayette ocorre bastante acúmulo de lodo proveniente da decomposição de matéria orgânica e de resíduos sólidos. Deste ponto até a rua Lemos Torres ocorre um estrangulamento da calha e um forte adensamento de casas, inclusive sob o seu leito. E no trecho da Av. 17 de Agosto até o rio Capibaribe foi construída uma estrutura típica de concreto e taludes com grama, conhecida como canal do Plaza. A degradação do riacho Parnamirim pode ser visualizada na Figura 1.

Figura 1 – Ocupação nas margens do riacho Parnamirim no bairro de Casa Forte, Recife-PE.



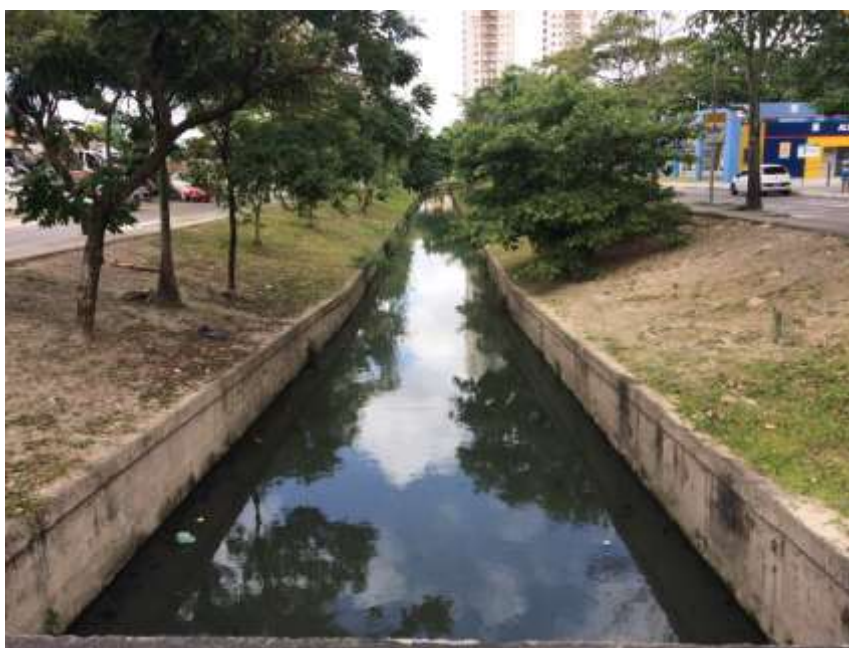
Fonte: O Autor (2016).

2.1.2 Riacho do Cavouco

O riacho do Cavouco é um afluente da margem direita do baixo Capibaribe, tem uma extensão de 5.340 m, área de drenagem de 216 ha e declividade média de 0,00149 m/m (CABRAL; PREUSS; FONSECA NETO, 2014). A sua nascente é dentro da área da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), onde é chamada de Lagunho e percorre os bairros da Várzea, Cidade Universitária, Cordeiro e Iputinga, desaguando no rio Capibaribe.

Logo após a nascente, o riacho já começa a sofrer os impactos da urbanização com o estrangulamento da sua calha, construção de habitações em cima do seu leito e lançamento de esgoto doméstico sem tratamento. Ao entrar novamente na área da UFPE, o Cavouco ainda possui um trecho com calha natural, com vegetação em volta, mas também apresenta aspectos visuais de degradação, com trechos em processo de eutrofização. A partir daí, é canalizado com paredes em concreto e recebe efluentes de laboratórios da universidade e do Hospital das Clínicas, evidenciado pela concentração de metais pesados como Cádmio e Chumbo em limites superiores aos aceitáveis, conforme Araújo e Oliveira (2014) (Figura 2).

Figura 2 – Estrutura de canal e talude com vegetação no riacho do Cavouco no bairro do Cordeiro, Recife-PE.



Fonte: O Autor (2016).

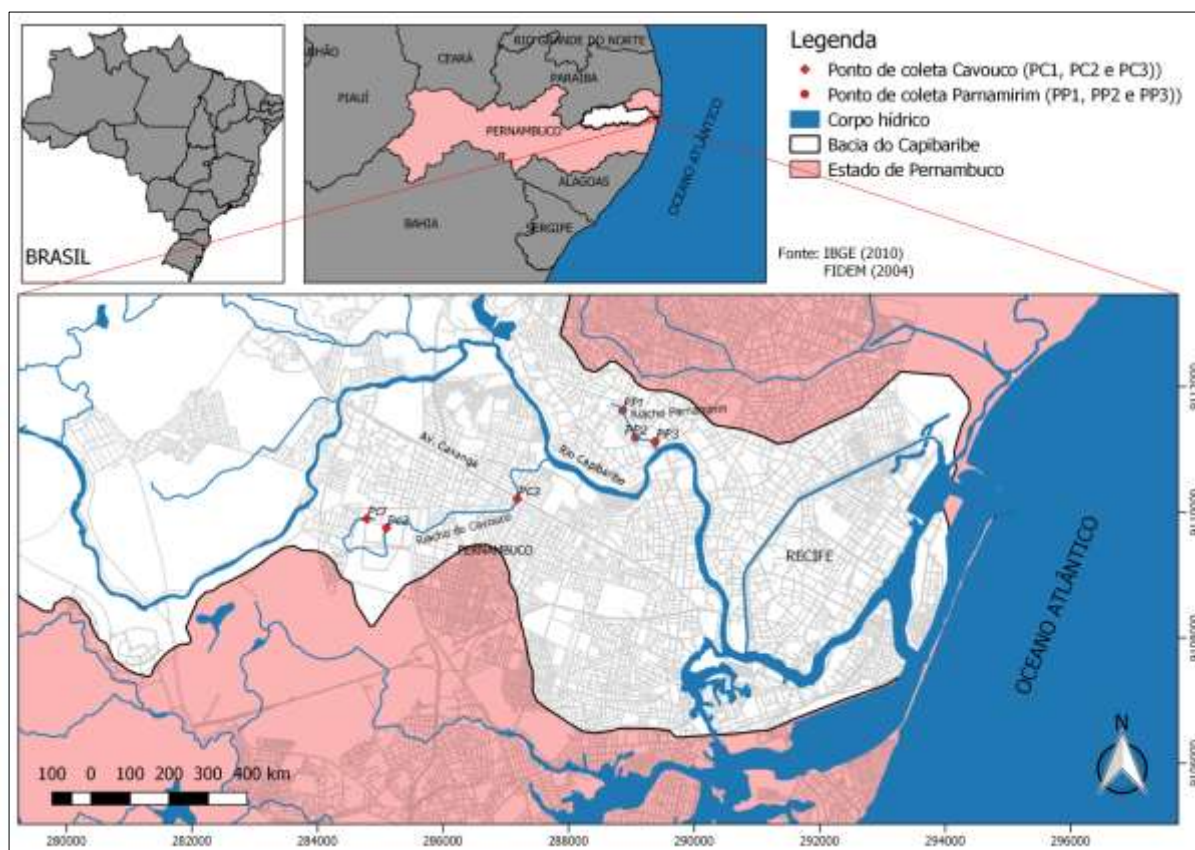
2.2 Procedimentos metodológicos

2.2.1 Pontos de coleta

Foram estabelecidos três pontos de coleta para cada riacho: no riacho Parnamirim, o Ponto 1 (PP1) localiza-se na interseção com a rua Dr. Samuel Lins (mais próximo a nascente); o Ponto 2 (PP2), na interseção com a Av. 17 de Agosto e, o Ponto 3 (PP3), com a rua Dr João Santos Filho, após o Shopping Plaza

(próximo ao rio Capibaribe). No riacho do Cavouco os pontos coletados foram: no laguinho da UFPE (PC1), onde está a nascente; o Ponto 2 foi coletado dentro da UFPE (PC2); e, o terceiro Ponto (PC3), na interseção da Av. Caxangá, próximo ao rio Capibaribe. Os pontos de coleta podem ser visualizados no mapa da Figura 3.

Figura 3 – Localização dos pontos de coleta nos riachos Parnamirim e Cavouco, Recife-PE.



Fonte: O Autor (2019).

2.2.2 Procedimentos de coleta de amostras de água

Foram realizadas duas coletas das águas superficiais nos meses de maio (período chuvoso) e de agosto (período seco) de 2016 e seis coletas em 2017, nos meses de janeiro e abril (período seco), junho e agosto (período chuvoso) e outubro e dezembro (período seco).

A coleta das mostras de água foi baseada no guia nacional de coleta e preservação de amostras (CETESB, 2011). As amostras foram coletadas utilizando um balde de aço inox a uma profundidade de 20-30 cm da superfície.

Posteriormente, foram inseridas em recipientes específicos de armazenamento, esterilizados, identificados e acondicionados imediatamente em uma caixa térmica com gelo e transportadas ao laboratório para análise. O material de coleta pode ser visualizado na Figura 4.

Figura 4 – Material de coleta composto por balde, frascos de vidro e plástico e caixa térmica.



Fonte: O Autor (2016).

2.2.3 Procedimentos de análises laboratoriais

A qualidade da água foi analisada no laboratório Prof. Aducto da Silva Teixeira, da Agência Estadual de Meio Ambiente (CPRH), seguindo o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (SMWW)* (APHA, 2012). O Quadro 1 apresenta a norma de análise específica de cada parâmetro analisado:

Quadro 1 – Normas específicas do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater dos parâmetros medidos.

Parâmetro	Norma SMWW
Temperatura	2550
pH	4500-H+B
Turbidez	2130B
Amônia	4500-NH ₃ F
Sólidos Totais	*
Fósforo total	4500-P E
Oxigênio Dissolvido	4500-O C
Demanda Bioquímica de Oxigênio	5210B
Coliformes termotolerantes	9221E2

*Por indisponibilidade do laboratório, os Sólidos Totais Dissolvidos (STD) foram determinados a partir da relação com a condutividade elétrica, seguindo a SMWW 2510 B. Utilizou-se um fator de conversão, multiplicando a condutividade elétrica por 0,67, baseado nos estudos de Araújo e Oliveira (2014), Frančišković-Bilinski et al. (2013), Libanio (2016) e Tundisi (2008).

Fonte: elaborado pelo autor

2.2.4 Análise de estatística descritiva

Os resultados das análises de qualidade da água foram agrupados por data de coleta e dispostos na ordem da nascente à foz para melhor visualização dos efeitos da urbanização. Os dados foram analisados com estatística descritiva, determinando a mediana e teste de correlação de Pearson, entre os parâmetros analisados no período seco e no período chuvoso, usando o *software* Statística, versão 6.1. Os gráficos também foram gerados utilizando o mesmo *software*. De acordo com Larson e Farber (2010), o coeficiente de correlação de Pearson (r), ou coeficiente de correlação produto-momento, ou o r de Pearson mede o grau da correlação linear entre duas variáveis quantitativas. É um índice adimensional com valores situados entre -1,0 e 1,0, inclusive, que reflete a intensidade de uma relação linear entre dois conjuntos de dados. O teste foi realizado entre os parâmetros para verificar a correlação descrita na literatura.

2.2.5 Cálculo do Índice de Qualidade da Água

De acordo com Von Sperling (2007), o IQA é calculado pelo produtório ponderado das qualidades de água correspondentes às variáveis que integram o índice. A seguinte fórmula é utilizada, conforme a Equação 1:

$$IQA = \prod_{i=1}^n qi^{wi} \quad (1)$$

onde:

IQA: Índice de Qualidade das Águas, um número entre 0 e 100;

qi: qualidade do i-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 100, obtido da respectiva “curva média de variação de qualidade”, em função de sua concentração ou medida e,

wi: peso correspondente ao i-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 1, atribuído em função da sua importância para a conformação global de qualidade, sendo que:

em que:

n: número de variáveis que entram no cálculo do IQA.

Além de seu peso (w), cada parâmetro possui um valor de qualidade (q), obtido do respectivo gráfico de qualidade em função de sua concentração ou medida. Os pesos estão descritos no Quadro 2.

Quadro 2 – Parâmetros de qualidade de água e pesos relativos para cálculo do IQA.

Parâmetros	Pesos relativos
Oxigênio Dissolvido (OD)	0,17
Coliformes termotolerantes (E.Coli)	0,15
Potencial hidrogeniônico (pH)	0,12
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	0,10
Temperatura (T)	0,10
Fósforo Total (P)	0,10
Nitrogênio Total (N)	0,10
Turbidez	0,08
Sólidos Totais (ST)	0,08

Fonte: CETESB (2017).

A partir do cálculo efetuado, pode-se determinar a qualidade das águas brutas, que é indicada pelo IQA, variando numa escala de 0 a 100, representado no Quadro 3.

Quadro 3 – Pontuação do IQA para classificação da qualidade da água.

Classificação da qualidade da água	Pontuação
ÓTIMA	$80 < \text{IQA} \leq 100$
BOA	$52 < \text{IQA} \leq 79$
REGULAR	$37 < \text{IQA} \leq 51$
RUIM	$20 < \text{IQA} \leq 36$
PÉSSIMA	$0 < \text{IQA} \leq 19$

Fonte: CETESB (2017).

3 Resultados e discussão

3.1 Parâmetros de qualidade da água

A Tabela 1 mostra os resultados obtidos de cada parâmetro analisado, sendo classificados em período seco, período chuvoso e totalidade dos dados entre 2016 e 2017 para o riacho do Cavouco, e a Tabela 2 para o riacho do Parnamirim. Foram extraídas as medianas dos valores para representar cada ponto de coleta. Todos os dados brutos por data de coleta estão disponíveis no Apêndice E.

Tabela 1 – Qualidade da água do riacho do Cavouco (2016-2017)

Parâmetro	2016-2017			Período Seco			Período Chuvoso		
	PC1	PC2	PC3	PC1	PC2	PC3	PC1	PC2	PC3
Temperatura (°C)	28,2	29,1	29,0	29,0	30,0	29	28,0	28,0	29,0
pH	6,75	7,25	7,5	6,7	7,3	7,1	6,8	7,0	7,0
Turbidez (UT)	8,25	15,0	17,5	15,0	10,0	20	6,5	15,0	15,0
Amônia (mg/L)	0,52	11,4	14,2	0,2	11,0	14,9	0,39	11,9	11,7
Fósforo (mg/L)	0,67	2,05	2,55	0,88	3,36	3,04	0,46	1,91	2,16
Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L)	61,5	430	499	385	428	501	45,9	444	498
OD (mg/L)	7,35	3,7	0,6	7,8	3,5	0,5	6,9	3,9	1,5
DBO (mg/L)	7,0	14,7	32,5	7,6	11,0	33,6	6,4	18,4	24,5
Coliformes (MNP/100mL.10 ³)	76,5	160	160	92	160	160	2,3	160	160

Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 2 – Qualidade da água do riacho do Parnamirim (2016-2017)

Parâmetro	2016-2017			Período Seco			Período Chuvoso		
	PP1	PP2	PP3	PP1	PP2	PP3	PP1	PP2	PP3
Temperatura (°C)	29,0	29,0	29,0	30,0	30,0	29,0	29,0	29,0	29,0
pH	7,1	7,1	7,1	7,1	7,1	7,2	7,1	7,1	7,1
Turbidez (UT)	37,5	32,5	30,0	50,0	35,0	30,0	35,0	25,0	30,0
Amônia (mg/L)	20,0	21,9	27,4	22,4	21,1	26,0	17,7	22,8	28,9
Fósforo (mg/L)	4,12	3,77	3,53	6,71	6,32	5,08	3,42	3,27	2,91
Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L)	562	581	595	572	599	674	423	460	572
OD (mg/L)	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
DBO (mg/L)	131,5	94,55	92,3	144	106	96,5	72,8	52,7	80
Coliformes (MNP/100mL.10 ³)	160	160	160	160	160	160	160	4,8	160

Fonte: elaborado pelo autor.

Os valores encontrados de temperatura e pH para o riacho do Cavouco e do Parnamirim não apresentaram variações significativas entre os pontos de coleta e entre os períodos analisados. O pH está dentro dos padrões estabelecidos para um rio de condição classe 2. Oliveira e Araújo (2013) também encontraram valores de pH entre 6 e 9 para o riacho do Cavouco. O lançamento de esgoto sem tratamento no riacho pouco interfere no pH, pois esse tipo de efluente possui esse parâmetro

variando de 6,89 a 8,47, conforme estudos de Monaco et al. (2014) e Alves et al. (2007) e próximo a 7, de acordo com Von Sperling (2007).

A turbidez apresentou um crescimento de montante para jusante nos pontos estudados no riacho do Cavouco. Os valores encontrados corroboram com os de Araújo e Oliveira (2014), que foi de 3 a 40 uT para o mesmo riacho. No Parnamirim apresentou valores maiores de turbidez de montante para jusante. Conforme Libânio (2016), o aumento da turbidez modifica as condições de iluminação das águas e o alcance da radiação luminosa, influenciando na fotossíntese e no crescimento das plantas aquáticas e do plâncton, especialmente em águas paradas ou com baixa velocidade de escoamento.

A amônia foi identificada pela presença do íon amônio (NH_4^+). No riacho do Cavouco, os valores não apresentaram variação significativa entre os períodos chuvoso e seco. Os pontos PC2 e PC3 não atendem a condição de classe 2. O Parnamirim apresentou valores maiores que o Cavouco e todos os pontos não atendem à condição de classe 2. Também não apresentou grande variação entre os períodos climáticos. Araújo e Oliveira (2014) encontraram, para o riacho do Cavouco, nos anos de 2012 e 2013, a concentração de amônia variado de 0,5 a 1,7 mg/L e seguindo a tendência de aumento de montante para jusante.

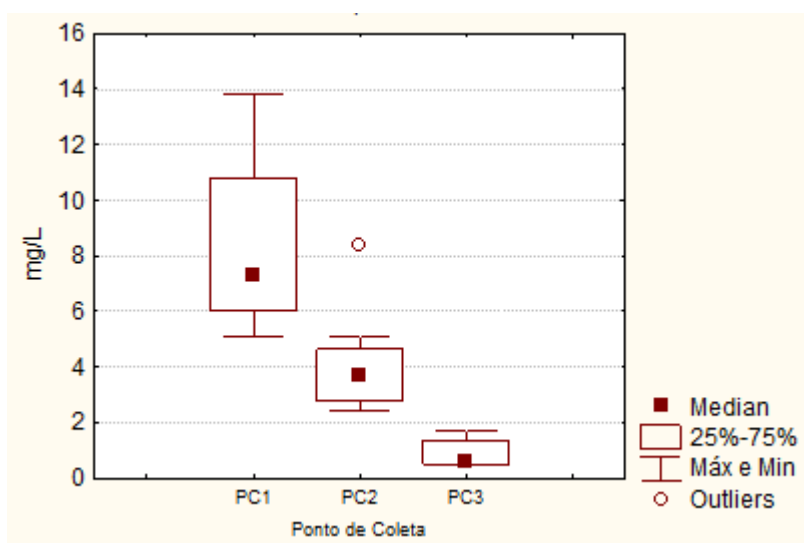
De acordo com Libânio (2016) e Von Sperling (2014), além da origem natural, a presença de altas concentrações de nitrogênio na água está associada ao lançamento de despejos domésticos – a quase totalidade nas formas de nitrogênio orgânico (40%) e amônia (60%). Libânio (2016) ainda afirma que concentrações significativas do íon amônio resultam em redução de oxigênio dissolvido despendido na nitrificação. Para cursos d'água com pH inferiores a 8, praticamente toda a amônia presente encontra-se na forma ionizada (NH_4^+).

Os valores encontrados de fósforo no riacho Cavouco e do Parnamirim estão muito superiores ao estabelecido para a condição de classe 2, que é de 0,025 mg/L. No período seco, a concentração chegou a dobrar em alguns pontos analisados. Silva et al. (2001) também encontraram valores de fósforo maiores no período seco no riacho do Cavouco. No ponto PC2 (Ponte do Laboratório de Imunopatologia Keizo Asami – LIKA) os valores foram de 0,30 mg/L no período seco e 0,20 mg/L no

período chuvoso. De acordo com Von Sperling (2014), o esgoto doméstico apresenta uma concentração de fósforo que varia de 4 a 12 mg/L, é uma grande fonte de poluição para os ambientes aquáticos e contribui para a proliferação de algas, ocasionando o fenômeno da eutrofização.

O Oxigênio Dissolvido (OD) é um dos principais parâmetros para avaliação da qualidade da água de corpos hídricos. Em todos dos pontos analisados no riacho do Parnamirim o OD apresentou-se menor que 0,5 mg/L. Isso mostra o estágio avançado de degradação desse curso hídrico devido ao lançamento de esgoto *in natura*. O OD no riacho do Cavouco apresentou melhores concentrações e tendência de decrescimento de montante para jusante e não atendem a condição para classe 2 nos pontos PC2 e PC3, que é não inferior a 5 mg/L O₂ (Figura 5).

Figura 5 – Oxigênio Dissolvido (mg/L) do riacho do Cavouco (2016-2017).



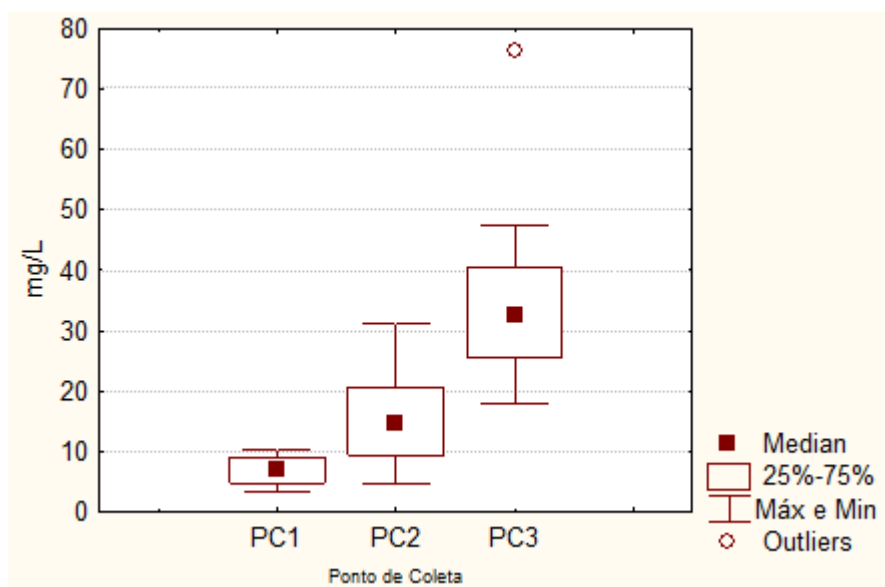
Fonte: O Autor (2019).

Araújo e Oliveira (2014), ao analisar oxigênio dissolvido do riacho do Cavouco em cinco pontos dentro da UFPE, encontraram para o laguninho os valores de 5 e 7,5 mg/L. Os pontos mais a jusante apresentaram valores variando de 1 a 4 mg/L. Costa et al. (2013) também encontraram baixos nestes pontos, de 0 a 3,8 mg/L, entre os anos de 2008 e 2012.

Apesar da pouca movimentação das águas no laguinho da UFPE, foram encontrados altos valores de oxigênio dissolvido. De acordo com Libânio (2016), em lagos e reservatórios a concentração de OD pode superar à de saturação em dias de intensa atividade fotossintética da comunidade de algas e de plantas aquáticas. As águas eutrofizadas (ricas em nutrientes) podem apresentar concentrações de oxigênio superiores a 10 mg/L, situação conhecida como supersaturação. Durante o dia, com a radiação solar, é realizada a fotossíntese, liberando o OD para água. À noite o processo se inverte (ANA, 2018; TUNDISI, 2008). Esse efeito pode “mascarar” a avaliação do grau de poluição de uma água quando se toma por base apenas a concentração de oxigênio dissolvido, necessitando analisar os outros parâmetros.

A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) apresentou altas concentrações no riacho do Parnamirim. Durante as coletas foi possível identificar grandes lançamentos de esgoto *in natura* neste curso hídrico, principalmente no PP1 no trecho da rua Dr. Samuel Lins. No riacho do Cavouco, a DBO aumentou de montante para jusante, refletindo, também, a quantidade de esgoto doméstico sem tratamento que é lançada no riacho ao longo do seu percurso (Figura 6). No período seco a concentração também foi maior. Os valores de DBO também estão acima do estabelecido para condição classe 2 que é de até 5 mg/L.

Figura 6 – Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L) do riacho do Cavouco (2016-2017).



Fonte: O Autor (2019).

Silva et al. (2001) também encontraram, no riacho do Cavouco, no trecho da UFPE, maiores concentrações de DBO no período seco, variando de 38 a 83 mg/L e, para o período chuvoso, de 29,5 a 35 mg/L. Costa et al. (2013) determinaram a DBO, no Cavouco, nos anos de 2008, 2011 e 2012. No ponto da ponte do CTG os valores foram respectivamente 60, 90 e 28 mg/L.

Os valores de coliformes termotolerantes para o riacho do Cavouco, assim como no riacho do Parnamirim, apresentaram valores superiores nos pontos PC2 e PC3 para a condição de rios classe 2 que é de 1000 NMP/100 mL. Silva et al. (2001) analisaram o riacho do Cavouco, dentro do trecho da UFPE, e encontraram valores de coliformes termotolerantes variando de 0,4 a 1600×10^5 NMP/100 mL no período seco e de 0,4 a 24×10^5 NMP/100 mL no período chuvoso. Cavalcante, Silva e Salgueiro (1998) encontraram no riacho do Cavouco *Escherichia coli*, *Enterobacter aerogenes*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Serratia sp.*, *Staphylococcus aureus* e *Streptococcus faecalis*.

De acordo com Von Sperling (2014), o esgoto bruto contém cerca de 108 a 1011 NMP/100 mL. O contato e a ingestão dessas águas pode ocasionar doenças como Febre Tifóide e Paratifóide, Desintéria Bacilar, Cólera, Gastroenterias Agudas e Diarréias.

3.2 Teste de correlação

O teste estatístico de correlação foi aplicado entre as variáveis e no período seco e chuvoso com objetivo de validar a coerência e comportamento dos dados encontrados com o estabelecido na literatura. No riacho do Parnamirim o teste apontou poucas correlações fortes e moderadas, apenas entre a DBO com a turbidez (0,865) e com a amônia (0,736). Isso se justifica pelo fato das várias fontes de lançamento de esgoto *in natura*, o que levou ao consumo total do oxigênio dissolvido, não sendo possível analisar tendência de comportamentos entre os parâmetros.

No riacho do Cavouco o teste estatístico apresentou correlação muito forte entre a DBO e a turbidez (0,907) e forte com a amônia (0,727) no período seco. O

fósforo também apresentou forte correlação com a DBO no período chuvoso (0,872). Relações moderadas foram encontradas entre a DBO e coliformes (0,642) e condutividade (0,719). Correlações negativas com o OD foram determinadas tanto no período seco (-0,680), como no período chuvoso (-0,646).

Ainda no Cavouco, foram encontradas correlações fortes no período chuvoso da temperatura com a DBO (0,739) e com o pH (0,785). E correlação moderada negativa com o Oxigênio Dissolvido (-0,417). De acordo com Von Sperling (2014), o aumento da temperatura ocasiona a volatilização do gás oxigênio que está dissolvido na água e facilita a liberação de outros gases que ocasionam mau cheiro.

O teste corrobora com as premissas de Piveli e Kato (2006) e Von Sperling (2014) de que a alta concentração de Demanda Bioquímica de Oxigênio em corpos hídricos muito degradados está associada ao despejo de esgotos domésticos sem tratamento. A carga poluidora lançada é composta de matéria orgânica, microrganismos, fosfatos, nitratos, e outras substâncias que levam ao consumo de oxigênio dissolvido dos cursos d'água e causam impactos, como a morte de peixes e proliferação de algas que causam eutrofização.

3.3 Índice de Qualidade da Água (IQA)

Após os cálculos realizados - seguindo a metodologia da CETESB - para o Índice de Qualidade de água, chegou-se ao seguinte resultado: O riacho Parnamirim apresentou uma péssima qualidade de água em todos os pontos analisados, tanto no período seco quanto no chuvoso. Já o riacho do Cavouco apresentou melhor qualidade no laguinho (PC1), sendo classificada boa no período chuvoso e como aceitável no período seco. O ponto PC2, a água foi classificada como ruim em todos os períodos. E o PC3 foi ruim no período chuvoso e péssimo no período seco. Os valores podem ser vistos na Tabela 3:

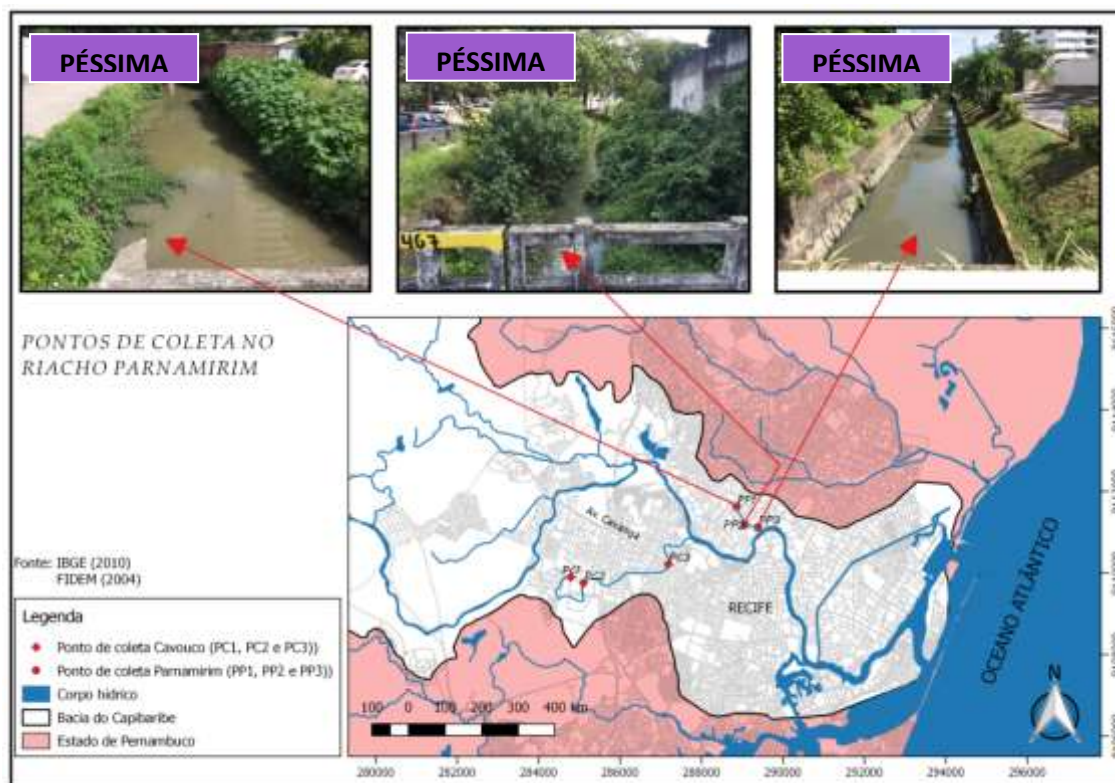
Tabela 3 – Pontuação e classificação do Índice de Qualidade de Água dos riachos Parnamirim e Cavouco (2016-2017).

Pontos de Coleta	2016-2017		Seco		Chuvoso	
	IQA	Classificação	IQA	Classificação	IQA	Classificação
PP1	15	Péssimo	15	Péssimo	15	Péssimo
PP2	15	Péssimo	15	Péssimo	15	Péssimo
PP3	15	Péssimo	15	Péssimo	15	Péssimo
PC1	57	Boa	45	Aceitável	62	Boa
PC2	33	Ruim	32	Ruim	28	Ruim
PC3	16	Péssimo	15	Péssimo	21	Ruim

Fonte: elaborado pelo autor.

A classificação da água pelo IQA dos riachos do Cavouco e Parnamirim corrobora com os resultados dos parâmetros analisados individualmente e comparados com a classificação do Conama. O Parnamirim apresenta um estágio muito avançado de degradação em vários parâmetros, com valores bastante superiores ao padrão estabelecido. A Figura 7 mostra os pontos e a classificação da qualidade da água do Parnamirim de acordo com o IQA.

Figura 7 – Índice de Qualidade da Água do riacho do Cavouco (2016-2017).

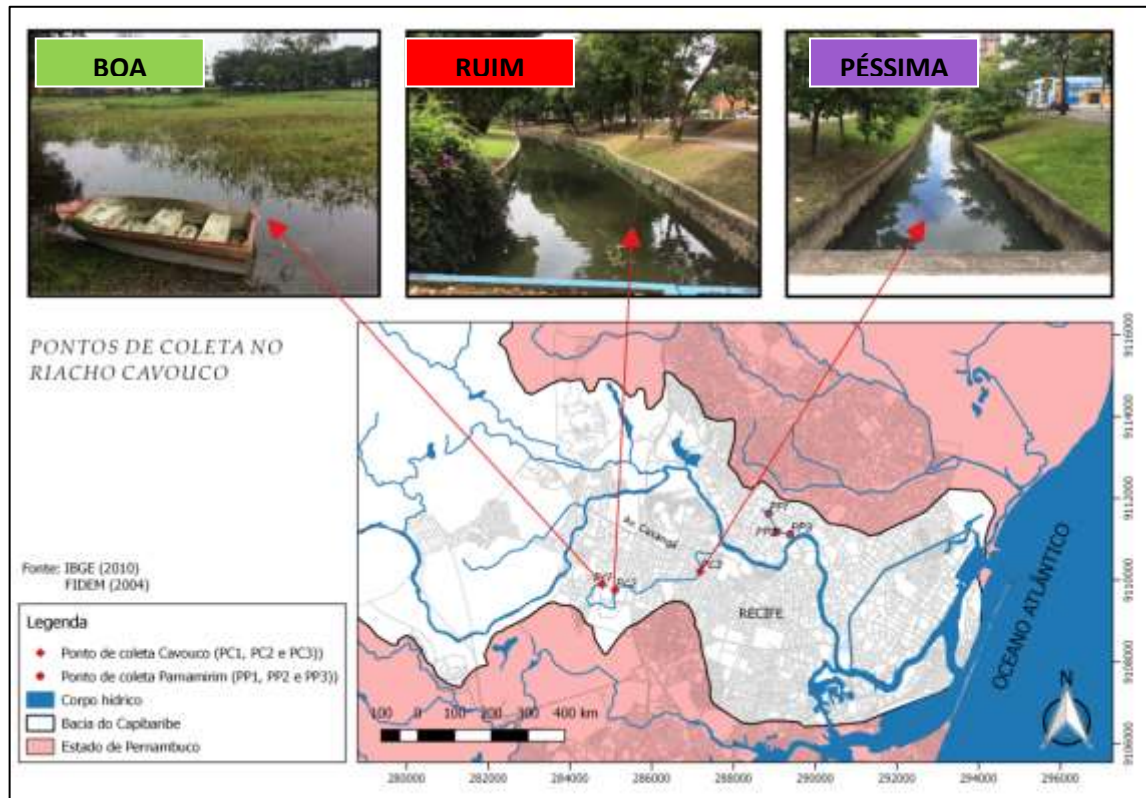


Fonte: O Autor (2019).

Em todo o percurso do riacho Parnamirim é possível ver lançamento de esgoto *in natura* e muitos resíduos sólidos. Principalmente no trecho da rua Lemos Torres, onde existe uma comunidade conhecida como Ilha das Cobras/Comunidade Lemos Torres, que ocupa uma área de 1,15 ha (RECIFE, 2015). No levantamento realizado pelo Projeto Capibaribe Melhor em 2005 (RECIFE, 2006), a comunidade é formada por 190 habitações e uma população de aproximadamente 840 pessoas. O projeto prevê a remoção dessa comunidade para um conjunto habitacional que foi construído na rua Lemos Torres, saneamento integrado da área e recuperação do canal do Parnamirim.

No riacho do Cavouco, o IQA também reflete a análise pelos limites estabelecidos na resolução do Conama e pela correlação entre os parâmetros. Percebe-se que a água no ponto PC1, no laguinho da UFPE, onde está a sua nascente, apresenta uma boa qualidade e vai piorando a jusante. A Figura 8 mostra os pontos e a classificação da qualidade da água do Cavouco de acordo com o IQA. Quando comparamos os valores de Oxigênio Dissolvido e DBO, esse processo se mostra bastante claro, em que a DBO aumenta a jusante e consome o OD da água. Silva et al. (2001) determinaram o IQA em vários pontos do riacho do Cavouco, na área da UFPE, e também classificaram a água como péssima no trecho da ponte do CTG e ruim nos demais pontos, tanto no período seco quanto no chuvoso.

Figura 8 – Índice de Qualidade da Água do riacho do Cavouco em três trechos (2016-2017).



Fonte: O Autor (2019).

Boa parte do riacho do Cavouco está inserido em uma área urbanizada já bastante consolidada, como a Universidade Federal de Pernambuco e o bairro do Cordeiro. A estrutura linear construída no Cordeiro, margeando o Cavouco, trouxe algumas melhorias, como harmonia paisagística e uso do local pela população, o que impede ocupações irregulares. Já no bairro da Iputinga, onde não existe essa requalificação, a degradação do Cavouco é bem maior. Infelizmente, ainda é encontrado lançamento de esgoto doméstico *in natura* e muitos resíduos sólidos em todo o percurso do riacho.

Bollmann e Edwiges (2008) afirmam que a diminuição dos valores do IQA resulta do efeito conjunto de fontes pontuais e difusas de poluição, como, por exemplo, o crescente acúmulo de matéria carbonácea oriunda de esgotos domésticos comumente lançados em rios urbanos. O IQA se mostrou uma boa ferramenta para avaliação da qualidade da água, pois foi possível identificar as

interações entre os parâmetros em uma distribuição espacial e temporal, como preconizam Harmancioglu, Ozkul e Alpaslan (1998).

4 Considerações finais

A urbanização descontrolada do Recife ao longo da sua história até os dias mais recentes tem ocupado cada vez mais áreas que deveriam ser preservadas, como as encostas e margens dos rios. A deficiente infraestrutura urbana de drenagem e, principalmente, de coleta e tratamento de esgoto doméstico é a principal causa da degradação da qualidade da água dos seus cursos d'água, como é o caso do riacho do Cavouco e do Parnamirim. Comprova-se, pelas altas concentrações de Demanda Bioquímica de Oxigênio e de coliformes termotolerantes e baixas concentrações de Oxigênio Dissolvido, o comprometimento da vida aquática.

Comparando os resultados dos períodos climáticos, a qualidade da água melhora no período chuvoso, em que há mais entrada de água na bacia e, conseqüentemente, a diluição dos esgotos, conforme descrito na literatura. Diferentemente do que ocorre em curso d'água não degradado, onde as chuvas carregam sólidos para o leito, alterando sua qualidade. Já a análise espacial mostrou que a qualidade da água piora de montante para jusante, no riacho do Cavouco, conforme o aumento de ocupação urbana e o lançamento de esgoto doméstico *in natura* ao longo do curso d'água.

O riacho Parnamirim apresentou valores de parâmetros de qualidade de água bem mais comprometidos do que o riacho do Cavouco. Em toda a sua extensão são visíveis as construções irregulares (até sob o seu leito) e o lançamento de esgoto doméstico *in natura*, comprovado pelos altos valores de Demanda Bioquímica de Oxigênio, coliformes termotolerantes e a ausência de oxigênio dissolvido em quase todos os pontos coletados. Apesar de o Cavouco apresentar uma estrutura de urbanização melhor que a do riacho Parnamirim, os dados de qualidade nos pontos mais a jusante da nascente também são preocupantes. Os poluentes tendem a se concentrar nos pontos PC2 e PC3 e conseguimos acompanhar a modificação da qualidade da nascente para esses pontos.

O IQA se mostrou eficaz para demonstrar de forma mais simples o estado de degradação em que se encontram os riachos estudados. Os dados apresentados mostram os impactos da urbanização na degradação da qualidade da água desses dois riachos urbanos, sendo o lançamento de esgoto sanitário a principal causa. O monitoramento contínuo desses riachos torna-se importante, na medida em que pode sensibilizar a população recifense para o redescobrimento desses riachos e dessa forma adotar posturas individuais e coletivas para a recuperação ecológica e da qualidade da água. Recomenda-se a aplicação dos dados no ÍCARU, buscando soluções que possam contribuir para a revitalização e melhoria da qualidade da água de riachos urbanos do Recife.

5 Referências

ALVES, G. P. M. et al. Caracterização do esgoto sanitário coletado na cidade de Passo Fundo-RS. **Teoria e Prática na Engenharia Civil**, n. 10, p. 25-29, 2007.

ANA – Agência Nacional de Águas. **Indicadores de Qualidade - Índice de Qualidade das Águas (IQA)**. Disponível em: <http://portalpnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx>. Acesso em: 20 de ago. 2018.

APHA – American Public Health Association. **Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater**, 22. ed. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. Washington, DC, 2012.

ARAÚJO, M. C.; Oliveira, M.B.M. Avaliação da qualidade hídrica do riacho cavouco por meio de variáveis físicas e químicas da água. In: Maria Betânia Melo de Oliveira; Gilberto Gonçalves Rodrigues; Kenia Valença Correa. (Org.). **Riacho Cavouco: que riacho é esse?**. 1ed. Recife: Editora UFPE, 2014, v.1 , p. 19-32.

BOLLMANN, H. A.; EDWIGES, T. Avaliação da qualidade das águas do Rio Belém, Curitiba-PR, com o emprego de indicadores quantitativos e perceptivos. **Eng. sanit. ambiente.**, Rio de Janeiro, p. 443-452, out./dez. 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/esa/v13n4/a13v13n4.pdf>. Acesso em: 16 ago. 2018.

BRAGA, R. A. P. et al. Informações hidráulicas e hidrológicas para renaturalização do riacho Parnamirim. In: XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2009, Campo Grande. **Anais....** Porto Alegre: ABRH, 2009. v. 1, p. 1-10.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução Nº 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em:

http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/lei/l11079.htm. Acesso em: 25 jan. 2017.

CABRAL, J. J. S. P.; PREUSS, S. L. C.; FONSECA NETO, G. C. Capibaribe e seus afluentes na planície de recife: visão multidisciplinar de um rio urbano e sua importância para o sistema de drenagem das águas pluviais. In: **XII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste**. Natal: ABRH, 2014. Disponível em: http://www.abrh.org.br/xiisrh/apresentacoes/pap018397_jaimecabral_09h15_ok.pdf. Acesso em: 18 ago. 2017.

CARVALHO, A. P.; BALDUINO, A. R.; MACIEL, G. F.; PICANÇO, A. P. Avaliação da poluição em rios utilizando índices de qualidade da água: um estudo de caso no ribeirão São João em Porto Nacional –TO. **Geociências**, v. 35, n. 3, p. 472-484, 2016. Disponível em <http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/GEOSP/article/view/9527/8875>. Acesso em: 20 ago. 2018.

CAVALCANTE, C. E. M. H.; SILVA, V. L.; SALGUEIRO, A. A. Avaliação microbiológica da água do Riacho Cavouco, Recife - PE. **Higiene Alimentar**, v. 12 n.57, p. 45-49, set.-out., 1998.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Guia nacional de coleta e preservação de amostras**: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos. Brasília: ANA, 2011. 326 p. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2012/GuiaNacionalDeColeta.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2018.

_____. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo 2016**. São Paulo: CETESB, 2017. 301 p. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2018/06/Relat%C3%B3rio-de-Qualidade-das-%C3%81guas-Interiores-no-Estado-de-S%C3%A3o-Paulo-2017.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2018.

COSTA, R. et al. Características físico-químicas dos esgotos e das águas do Riacho Cavouco no percurso dentro do campus da UFPE. In: **Anais... 53º Congresso Brasileiro de Química**. Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <http://www.abq.org.br/cbq/2013/trabalhos/6/index.html>. Acesso em: 20 ago. 2018.

CPRH – Agência Estadual de Meio Ambiente de Pernambuco. **Quem vai salvar o rio?** Recife: CPRH, 2018. 38p.

DALMAS, F. B. et al. Reflexos do uso e ocupação do solo na qualidade da água do rio Embu-Guaçu, região metropolitana de São Paulo. **Geociências**, v. 34, n. 1, p.130-144, 2015. Disponível em: https://www.revistageociencias.com.br/geociencias-arquivos/34/volume34_1_files/34-1-artigo-11.pdf. Acesso em: 20 ago. 2018.

FRANČIŠKOVIĆ-BILINSKI S. et al. Geochemical and stable isotopic variability within two rivers rising under the same mountain, but belonging to two distant watersheds.

Chemie der Erde-Geochemistry, v. 73, p. 293-308, 2013. DOI: 10.1016/j.chemer.2013.02.004.

HARMANCIOGLU, N. B.; OZKUL, S. A.; ALPASLAN, M. N. Water monitoring and network design. In: HARMANCIOGLU, N. B.; SINGH, V. P.; ALPASLAN, M. N. (Ed.) **Environmental data management**. The Hague: Kluwer Academic Publishers, 1998. p. 61-100.

LARSON, R.; FARBER, B. **Estatística Aplicada**. 4. ed. São Paulo: Ed. Pearson, 2010. 640 p.

LIBANIO, Marcelo. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 4. ed. Campinas: Átomo, 2016. 640 p.

MONACO, P. A. V. L. et al. Tratamento de esgoto sanitário utilizando coagulante natural seguido de filtro orgânico. **Rev. Caatinga**, Mossoró, v. 27, n. 1., p. 28 -40, 2014. Disponível em: <https://periodicos.ufersa.edu.br/index.php/caatinga/article/view/2614>. Acesso em: 20 ago. 2018.

PIRATOBA, A. R. A. et al. Caracterização de parâmetros de qualidade da água na área portuária de Barcarena, PA, Brasil. **Rev. Ambient. Água**, Taubaté, v. 12, n. 3, mai./jun. 2017. DOI: 10.4136/ambi-agua.1910. DOI: 10.4136/ambi-agua.1910.

PIVELI, R. P.; KATO, M. T. **Qualidade das Águas e Poluição**: Aspectos Físicos-Químicos. Rio de Janeiro: ABES, 2006. 285p.

RECIFE. **Atlas das Infraestruturas Públicas em Comunidades de Interesse Social do RECIFE**. Recife, 2015.

_____. **Projeto Capibaribe melhor – Relatório Avaliação Ambiental**. Secretaria de Planejamento Participativo, Obras e Desenvolvimento Urbano e Ambiental – URB. Recife, jan. 2006.

QUINATTO, J. et al. Using the pollutant load concept to assess water quality in an urban river: the case of Carahá River (Lages, Brazil). **Rev. Ambient. Água**, Taubaté, v. 14, n. 1, 2019. ARTICLES. DOI:10.4136/ambi-agua.2252.

SILVA, P. T. S. et al. Aplicação do índice de qualidade da água em um trecho do riacho Cavouco no campus da UFPE. Rio de Janeiro. In: 21º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, **Anais...** ABES, 1 CD-ROM. 2001.

SILVA, M. M. N. da; LIMA, D. F. de; SOUZA JUNIOR, A. M. de; CARVALHO, C. C. A. Segregação socioespacial: os impactos das desigualdades sociais frente a formação e ocupação do espaço urbano. **Revista Monografias Ambientais - REMOA** v. 15, n.1, p.256-263, jan-abr. 2016. DOI:10.5902/22361308.

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.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia Ciência e Aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2015. 944 p.

TUNDISI, José Galizia. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 632p.

VON SPERLING, M. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**. 4. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014. 470 p.

_____. **Estudos de modelagem da qualidade da água de rios**. Belo Horizonte: UFMG, v. 7, 2007. 452 p.

_____. **Princípios básicos do tratamento de esgotos**. 3. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2005. 211 p.

3.3 ARTIGO 3 – ÍNDICE DE CONSERVAÇÃO AMBIENTAL DE RIACHOS URBANOS (ÍCARU) DOS RIACHOS DO CAVOUÇO E PARNAMIRIM, RECIFE-PE.

Naquela madrugada de dezembro,
chegou uma chuva não esperada.
Lavou toda a água do rio
como quem briga com aquela maçada.
(CPRH, 2018)

1 Introdução

Os rios urbanos são ecossistemas complexos que integram os ambientes natural, construído e socioeconômico (ZHANG et al., 2019). Fornecem vários serviços ecossistêmicos, como o fornecimento de água para consumo humano, habitats de espécies de fauna e flora, ciclagem de nutrientes e regulação do microclima. Contribuem para a infraestrutura urbana, auxiliando na drenagem de águas pluviais e no transporte de pessoas e mercadorias. E, ainda, fazem parte da vida das pessoas, desenvolvendo o bem-estar por meio de atividades recreativas, esportivas, culturais e de contemplação (GARCIA et al., 2016; JIA; CHEN, 2013; KONDOLF; PINTO, 2017; PARSONS et al., 2016).

No entanto, o processo de urbanização, sem o devido planejamento, vem alterando as características naturais dos rios e riachos. Muitos cursos d'água são aterrados, retificados, canalizados ou tamponados, impactando diretamente a sua dinâmica hidrológica e o ciclo da água. Suas margens dão espaço ao sistema viário urbano e até mesmo construções irregulares sob o seu leito, podendo ocasionar tragédias em épocas de cheias. Também recebem grande quantidade de esgotos não tratados e resíduos sólidos que degradam a qualidade da água e vinculam doenças à população (BOOTH et al., 2016; BRION et al., 2015; CAPPS; BENTSEN; RAMÍREZ, 2016).

Recentemente, os rios e riachos urbanos, em várias cidades do mundo, vêm passando por um processo de revitalização, buscando reestabelecer o seu equilíbrio ecológico e sua função social (BERNHARDT; PALMER, 2007). Nessa ótica, a concepção de parque linear às margens dos cursos d'água é vista como uma alternativa viável, pois traz benefícios ambientais, sociais e econômicos (FRISCHENBRUDER; PELLEGRINO, 2006; MARTINEZ, 2016; WHOL;

ANGEMEIER; KONDOLF, 2005). Da mesma forma, é crescente a preocupação sobre a eficácia de projetos de revitalização de rios urbanos (PALMER et al., 2007).

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; FREITAS FILHO, 2011; TUCCI, 2017; ZHANG et al., 2019). Para consolidar de maneira mais efetiva o processo de diagnóstico da situação dos cursos d'água urbanos no Brasil, o Índice de Conservação de Riachos Urbanos (ÍCARU) foi desenvolvido a partir de um conjunto de indicadores classificados no modelo Pressão-Estado-Resposta (PER) (OECD, 2003) e calculado a partir de um Sistema Baseado de Regras Difusas (SBRD) (SANTOS et al., 2017).

Este estudo aplica o ÍCARU nos riachos do Cavouco e Parnamirim, no Recife, Pernambuco, Brasil. Com base no estado de conservação encontrada para os riachos estudados, foi possível identificar os principais fatores de degradação desses ecossistemas e como a sociedade e o governo poderão agir para revitalizá-los. O ÍCARU poderá servir de ferramenta para monitorar ao longo do tempo a eficácia de políticas e projetos de revitalização desenvolvidos e facilitar o entendimento da população sobre o tema.

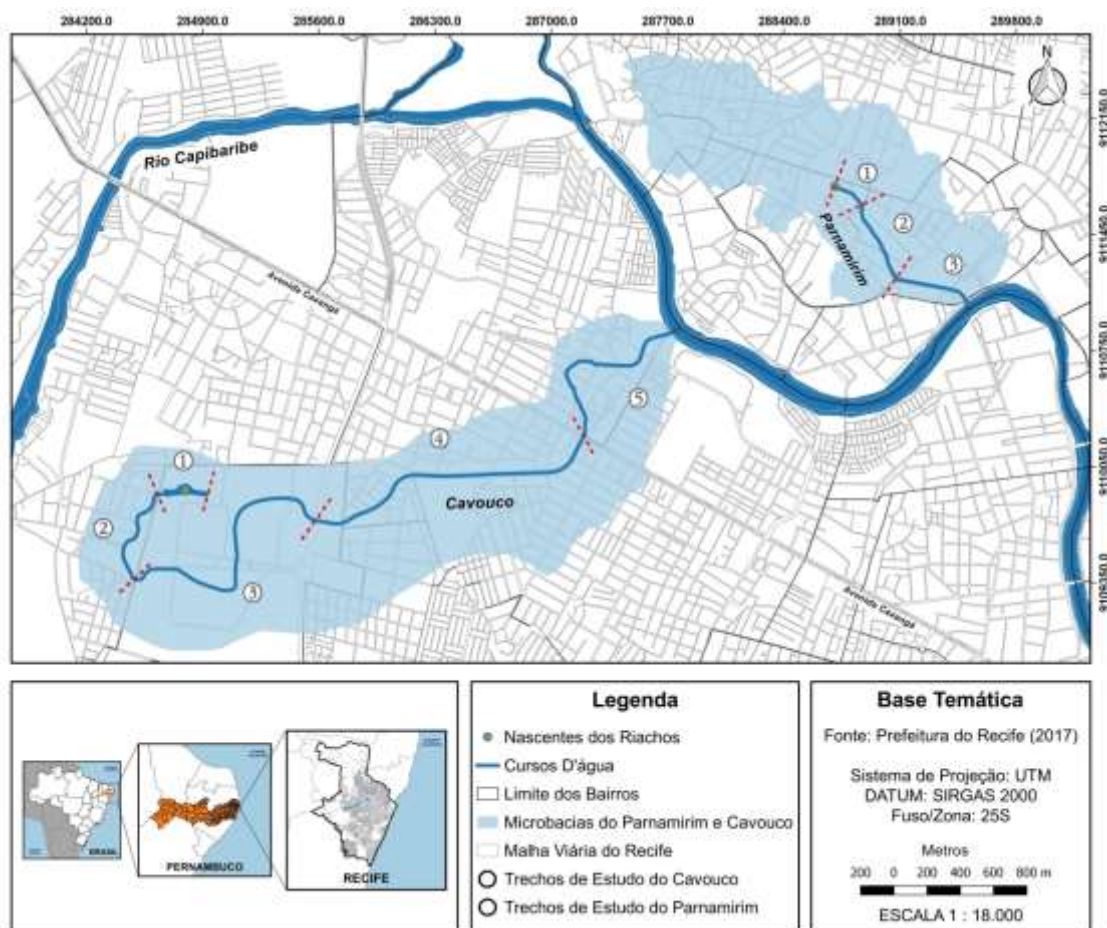
2 Materiais e métodos

2.1 Caracterização da Área de Estudo

O riacho do Cavouco é um afluente da margem direita do baixo Capibaribe, tem uma extensão de 5.340 m, área de drenagem de 216 ha e declividade média de 0,00149 m/m (CABRAL; PREUSS; FONSECA NETO, 2014). A sua nascente é dentro da área da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), onde é chamada de Laguinho e percorre os bairros da Várzea, Cidade Universitária, Engenho do Meio, Cordeiro e Iputinga, onde desagua no rio Capibaribe, no Recife. Foram analisados cinco trechos: Trecho 1 - Laguinho da UFPE; Trecho 2 - Bairro da Várzea; Trecho 3 - Cidade Universitária; Trecho 4 - Interseção entre a rodovia BR 101 e a avenida Caxangá; Trecho 5 - Interseção entre a avenida Caxangá e rio Capibaribe (Figura 1).

O riacho do Parnamirim é um afluente da margem esquerda do baixo Capibaribe, na cidade do Recife. Registros mostram que a nascente era no bairro do Monteiro, mas de lá até a rua Jerônimo Pimentel em Casa Forte, todo o trecho está sob construções. De acordo com Braga et al. (2009), o Parnamirim mede 1.170 m, possui uma largura média de 5 m, sendo considerado estreito, declividade média de 0,00139 m/m e área de drenagem de 153,2 ha. Foram analisados os seguintes trechos do riacho: Trecho 1 - Interseção das ruas Jerônimo Albuquerque e Dr. Samuel Lins; Trecho 2 - Interseção das ruas Dr. Samuel Lins e a avenida 17 de agosto; Trecho 3 - Interseção da avenida 17 de agosto com o rio Capibaribe (Figura 1).

Figura 1 – Área de estudo com delimitação dos trechos nos riachos do Cavouco e Parnamirim.



Fonte: O Autor (2019).

2.2 Sistema de indicadores

O sistema Pressão-Estado-Resposta (PER) é sugerido pela OECD para indicadores ambientais (OECD, 2003). O modelo PER explica as relações causais e interações entre as atividades e processos urbanos que produzem alterações, a qualidade ambiental e as ações que podem ser exercidas pela sociedade para reverter um quadro de degradação ou ampliar a conservação (NERI; DUPIN; SANCHEZ, 2016). O sistema PER tem sido utilizado em trabalhos com rios urbanos, sendo recomendado (HUDON; JEAN; LÉTOURNEAU, 2018; ZHANG et al., 2019).

Como não existe um padrão consistente para avaliar a conservação de riachos urbanos e os modelos propostos podem ser adaptados à realidade (DENG et al., 2015), um conjunto de 15 indicadores foi avaliado por um grupo de especialistas em revitalização de rios e riachos urbanos por meio de pesquisa Survey (PINSONNEAULT; KRAEMER, 1993). Nove indicadores foram selecionados pela simplicidade e clareza, disponibilidade do dado, baixo custo de obtenção e facilidade de aplicação, conforme recomenda Böhringer e Jochem (2007). Os indicadores encontram-se descritos no Quadro 1.

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.

Quadro 1 – Indicadores que compõe o Índice de Conservação Ambiental de Riachos Urbanos (ÍCARU).

Dimensão	Indicador	Descrição
Pressão	P1 – Efluente Sanitário	% de coleta e tratamento de efluente sanitário que podem indicar poluição.
	P2 – Resíduos Sólidos	% de coleta e destinação final de resíduos sólidos que podem indicar poluição.
	P3 – Ocupação nas margens	% de ocupações edificadas e de infraestrutura viária nas margens do riacho que indicam o impacto na conectividade lateral do ecossistema.
Estado	E1 – Qualidade da água	Índice de Qualidade da Água (IQA), que integra parâmetros, físicos, químicos e biológicos.
	E2 – Calha do riacho	Avalia o revestimento do leito, paredes e taludes do riacho para indicar a permeabilidade e fluxo entre as águas superficiais e subterrâneas e habitats de fauna bentônica.
	E3 – Vegetação ciliar	% de cobertura vegetal nas margens do riacho que indica o potencial de habitats para fauna e estabilidade das margens do riacho.
Resposta	R1 – Parques lineares	% de área com intervenções urbanísticas construídas ao longo do riacho, com objetivos ecológicos, estruturais, recreativos, culturais e estéticos.
	R2 – Plano de drenagem	Indica as medidas estruturais e não estruturais que visam reduzir o impacto da impermeabilização do solo nas cidades sobre os hidrogramas de cheias.
	R3 – Governança participativa	Indica os mecanismos de participação na gestão dos riachos urbanos com objetivo de obter melhores resultados nas ações político-administrativas.

Fonte: elaborado pelo autor.

2.3 Sistema Baseado de Regras Difusas (SBRD)

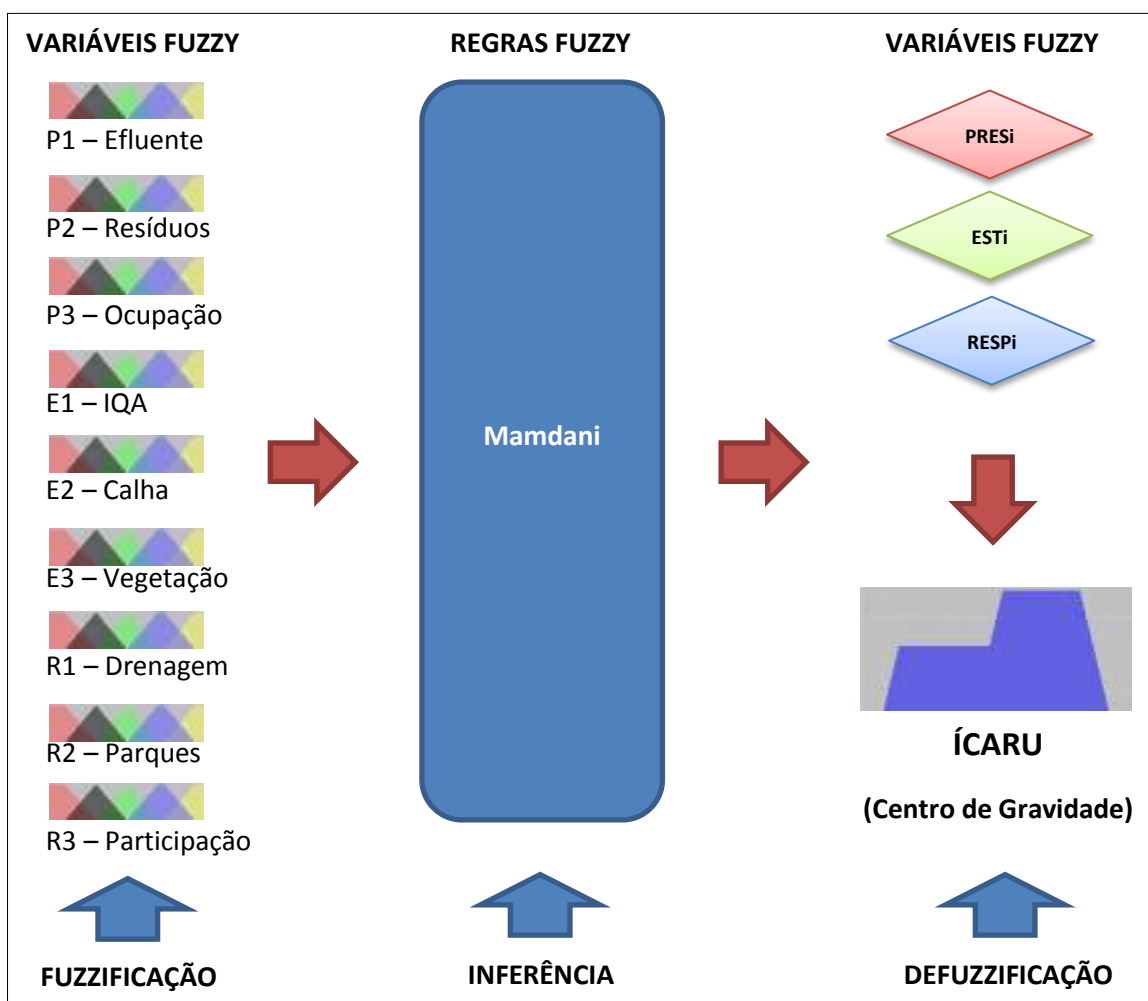
O SBRD foi utilizado neste trabalho por conseguir ser eficaz em simplificar sistemas complexos a fim de facilitar o seu entendimento e subsidiar a tomada de decisões (SALES; GOMES; SOUZA, 2014; SANTOS et al., 2017; ZHANG et al., 2019). O método trata informações qualitativas de forma rigorosa e exata, a partir do conhecimento de especialistas e se apoia em três passos principais: fuzzificação, inferência e defuzzificação (BARROS; BASSANEZI; LODWICK, 2017; GOLDSCHMIDT, 2010; ZIMMERMANN, 2011).

Na etapa de fuzzificação, que corresponde à criação de conjuntos e regras fuzzy foram definidas 125 regras para o sub índice Pressão, 125 para Estado e 27 para Resposta. No cálculo do ÍCARU, que agrega os três sub índices ($PRES_i + EST_i + RESP_i$), elaborou-se mais 75 regras, totalizando 352 na base de regras Fuzzy. O

método de inferência utilizado foi o Mamdani, que tem como base a regra de composição de inferência max-min e propõe uma relação fuzzy binária para modelar matematicamente a base de regras (GOLDSCHMIDT, 2010). Na defuzzificação foi utilizado o método do centro de gravidade e o ÍCARU foi estabelecido em uma escala de 0 a 10 e classificado em 5 níveis de conservação: ótimo, bom, regular, ruim e péssimo. São gerados gráficos do tipo radar e centro de gravidade para expressar os resultados.

Foi adotado o software FuzzyGen para ajudar na modelagem e construir o SBRD (LIMA; MASSRUH, 2009). O software é desenvolvido na linguagem de programação Java e fornece uma interface amigável para definir as partes essenciais de um SBRD (CINGOLANI; ALCALÁ-FDEZ, 2012), que permite aos usuários mensurar o ÍCARU para um riacho urbano ou realizar simulações e construir cenários. A estrutura do SBRD para o cálculo do ÍCARU pode ser visualizado na Figura 2.

Figura 2 – Estrutura do SBRD para cálculo do ÍCARU.



Fonte: O Autor (2019).

3 Resultados e discussão

Os resultados dos indicadores de Pressão (P1, P2 e P3), Estado (E1, E2 e E3) e Resposta (R1, R2 e R3) dos riachos do Cavouco e Parnamirim, obtidos com dados de 2017 estão descritos na Tabela 1, por cada trecho analisado.

Tabela 1 – Dados dos indicadores por trecho dos riachos do Cavouco e Parnamirim.

Indicador	Unid.	Riacho do Cavouco					Riacho Parnamirim		
		1	2	3	4	5	1	2	3
P1 – Efluente Sanitário ¹	%	32,0	32,0	32,0	32,0	32,0	32,0	32,0	32,0
P2 – Resíduos Sólidos ¹	%	100	100	100	100	100	100	100	100
P3 – Ocupação nas margens ²	%	2,24	47,5	13,2	29,4	32,5	55,8	59,8	83,1
E1 – Qualidade da água ³	0-100	57,0	33,0	33,0	16,0	16,0	15,0	15,0	15,0
E2 – Calha do riacho ⁴	0-25	21,0	17,0	13,0	13,0	19,0	16,6	16,2	13,0
E3 – Vegetação ciliar ²	%	18,7	38,0	26,7	35,0	43,3	39,0	30,5	23,7
R1 – Parques lineares ²	%	15,6	0	0	30,7	0	0	0	0
R2 – Plano de drenagem ⁵		Inad	Inad	Inad	Inad	Inad	Inad	Inad	Inad
R3 – Governança participativa ⁶		Inad	Inad	Inad	Inad	Inad	Acei	Acei	Inad

Fonte: ¹SNIS (2018); ²elaborado pelo autor (Apêndice F); ³Cometti et al. (2018); ⁴Recife (2016a) e validado pelo autor com dados observados em campo; ⁵Recife (2016b); ⁶Recife (2019).

A conservação ambiental dos riachos do Cavouco e Parnamirim foram avaliadas à luz dos resultados obtidos por meio do SBRD criado. Foram realizadas a primeira inferência de cada indicador e depois para os sub-índices de pressão (PRESi), estado (ESTi) e resposta (RESTi) e posteriormente a terceira inferência para calcular o ÍCARU de cada trecho. Os resultados estão na Tabela 2.

Tabela 2 – Sub indicadores PRESi, ESTi e RESPi e ÍCARU dos riachos do Cavouco e Parnamirim.

Sub-índice	Riacho do Cavouco					Riacho Parnamirim		
	1	2	3	4	5	1	2	3
PRESi	30,00	50,00	45,96	50,00	50,00	51,92	59,64	67,65
ESTi	60,00	56,17	50,00	37,30	52,83	45,18	44,21	36,38
RESPi	25,30	25,30	25,30	25,30	25,30	25,30	25,30	25,30
Centro de gravidade	50,00	32,72	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
ÍCARU	REG	RUIM	RUIM	RUIM	RUIM	RUIM	RUIM	RUIM

Fonte: elaborado pelo autor.

As Figuras 3, 5, 7, 9 e 11 mostram os gráficos do tipo radar comparativo qualitativo, ou seja, o valor % no intervalo fuzzy entre a pior classe e a melhor classe para os trechos do riacho do Cavouco. Os indicadores mais próximos na linha 10 (cor verde) apresentam resultados positivos e os mais próximos da linha zero (vermelha) os negativos em comparação à composição do sub indicador e do ÍCARU. Já os gráficos de centro de gravidade (Figuras 4, 6, 8, 10 e 12) mostram o

grau de pertinência do ÍCARU de cada trecho ao conjunto fuzzy, traduzido no valor linguístico (péssimo, ruim, regular, bom ou ótimo).

O Trecho 1 do riacho do Cavouco que compreende a área do laguinho da UFPE apresentou o ÍCARU como “regular”. A área apresenta a calha natural e boa qualidade da água. Entretanto, a deficiência de mata ciliar, de estruturas de parque linear, de ações educativas que envolvam a participação da comunidade acadêmica e de instrumentos de revitalização da área, enfraquece a sua conservação. Porém apresenta grande potencial de revitalização, pois a ocupação no entorno, causa uma pressão muita baixa.

O Trecho 2 passa por uma área de residências já consolidadas, tem parte da sua calha tamponada e recebe efluente sanitário sem tratamento. Apresenta uma qualidade de água ruim, mas também possui trechos com vegetação densa e calha natural. É uma área que ainda não passou por intervenções de requalificação, o ÍCARU é ruim, mas poderia ser melhorada com a retirada as ocupações irregulares e a recomposição da mata ciliar.

O Trecho 3 que passa pela UFPE já teve parte revitalizado, com a construção e paredes em pedra e concreto e taludes com grama e poucas árvores. Apesar da qualidade da água apresentar-se ruim, foi visto peixes durante as coletas de amostras de água. Também existe uma área próxima ao Centro de Tecnologia e Geociências que ainda não passou por intervenção e que pode perfeitamente ser revitalizada com a construção de um parque linear.

O Trecho 4 já passou por uma obra de requalificação, onde o riacho do Cavouco foi retificado e canalizado com paredes em pedra e concreto e taludes com grama e arvores. Possui nas margens calçadas, ciclovia e alguns equipamentos de esportes. No entanto, em boa parte da sua Área de Preservação Permanente (APP) foi utilizada para a construção de infraestrutura viária e a qualidade da água é péssima. Ações de educação ambiental podem contribuir para que a população cuide melhor da área do parque linear e contribua para a conservação.

Boa parte do Trecho 5 passa entre as residências no bairro da Iputinga, a qualidade da água é péssima e tem sua calha em estado natural com vegetação.

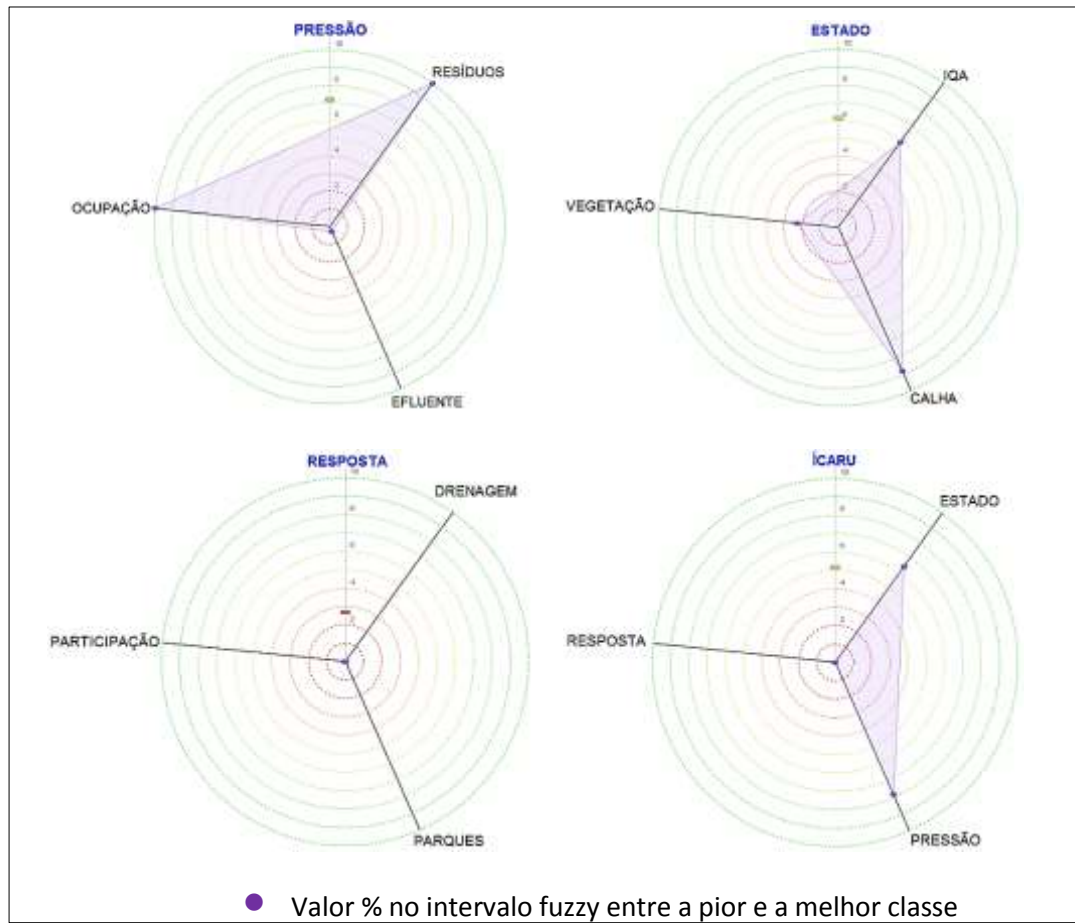
Em outra parte, próximo ao Parque Caiara, tem bastante vegetação e uma área sem uso. Esse trecho, também apresentou o ÍCARU ruim, porém apresenta um grande potencial para revitalização, integrando-o ao Parque Caiara.

Já as Figuras 13, 15, e 17 mostram os gráficos do comparativo qualitativo para os trechos do riacho Parnamirim. O Trecho 1 é onde a calha do riacho pode ser vista, pois à montante da rua Jerônimo de Albuquerque está tamponada ou aterrada. A área está entre residências, mas ainda possui boa parte com vegetação densa e onde foi avistada a presença de cágados. A prefeitura do Recife iniciou um trabalho de retirada de ocupações irregulares na APP. O ÍCARU do trecho foi classificado como ruim, entretanto, apresenta um potencial para área de proteção dentro do parque linear proposto.

O Trecho 2 do Parnamirim também apresentava em 2017 suas margens bastante ocupadas, inclusive com algumas casas sobre a sua calha. Próximo a rua Dr. Samuel Lins, provavelmente ocorre um grande lançamento de esgoto doméstico oriundo de *by pass* da rede coletora, pois foi possível observar características de esgoto sanitário bruto. No final de 2017 a Prefeitura do Recife remanejou cerca de 91 famílias para o Residencial Lemos Torres, construído próximo do Parnamirim. Nesse processo foram realizadas reuniões com a população e ações de educação ambiental.

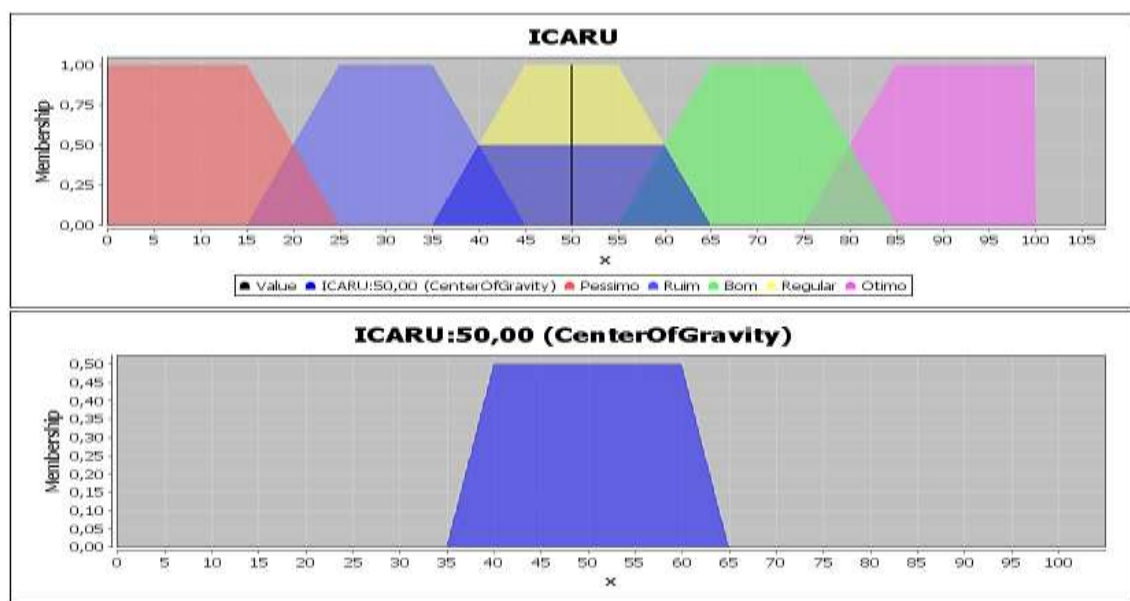
O Trecho 3 é onde está localizado às margens o Shopping Plaza. Foi canalizado com paredes em concreto e parte tamponado para construção de vias e de um viaduto. Existe pouca vegetação nas margens e a intervenção não considerou a integração do riacho com as pessoas. O ÍCARU também foi classificado como ruim e a alternativa para melhorá-lo seria a instalação de calçadas e ciclovias para favorecer um uso mais adequado.

Figura 3 – Comparativo qualitativo dos sub índices Pressão, Estado e Resposta e ÍCARU, trecho 1 do riacho do Cavouco.



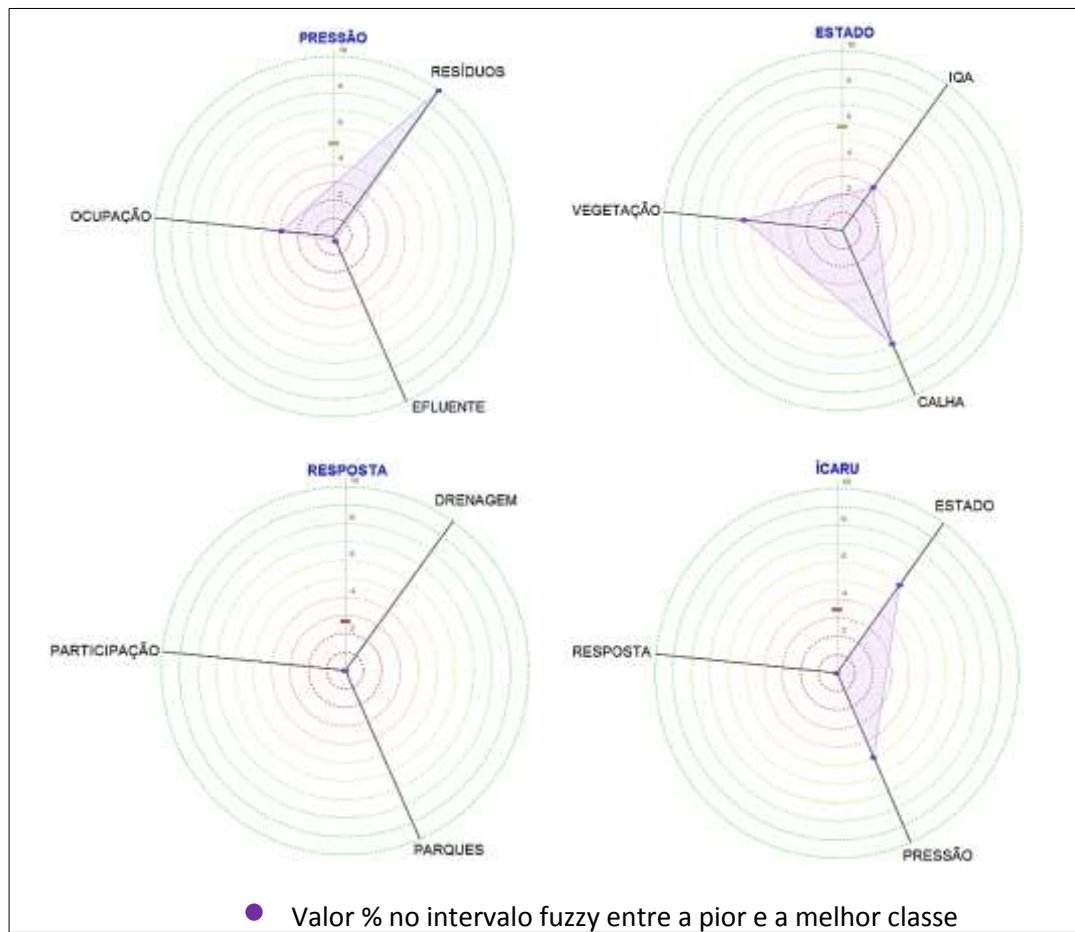
Fonte: O Autor (2019).

Figura 4 – ÍCARU (centro de gravidade) do trecho 1 do riacho do Cavouco.



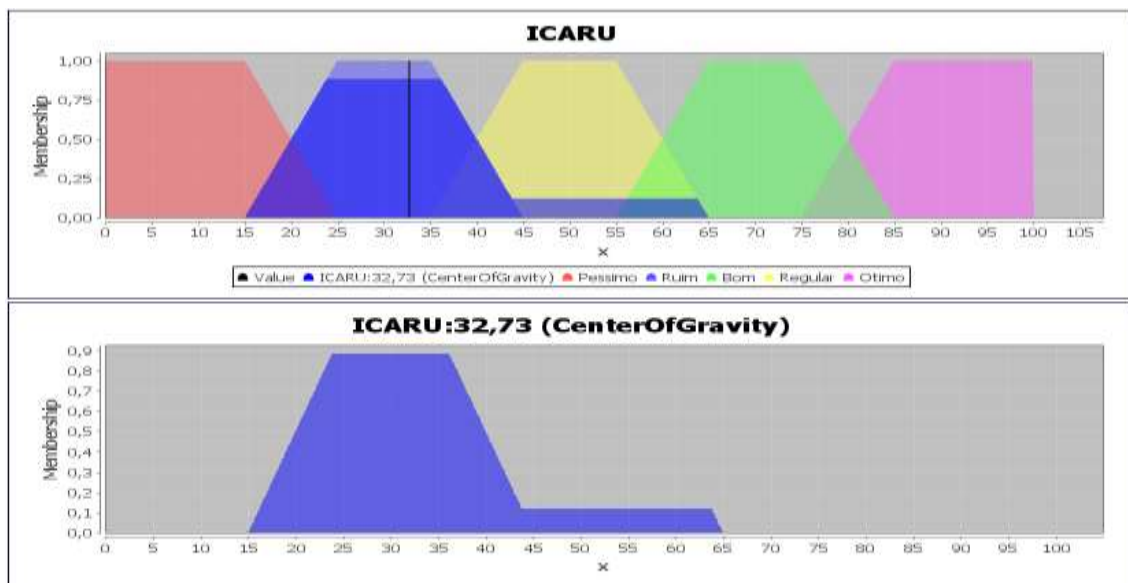
Fonte: O Autor (2019).

Figura 5 – Comparativo qualitativo dos sub índices Pressão, Estado e Resposta e ÍCARU, trecho 2 do riacho do Cavouco.



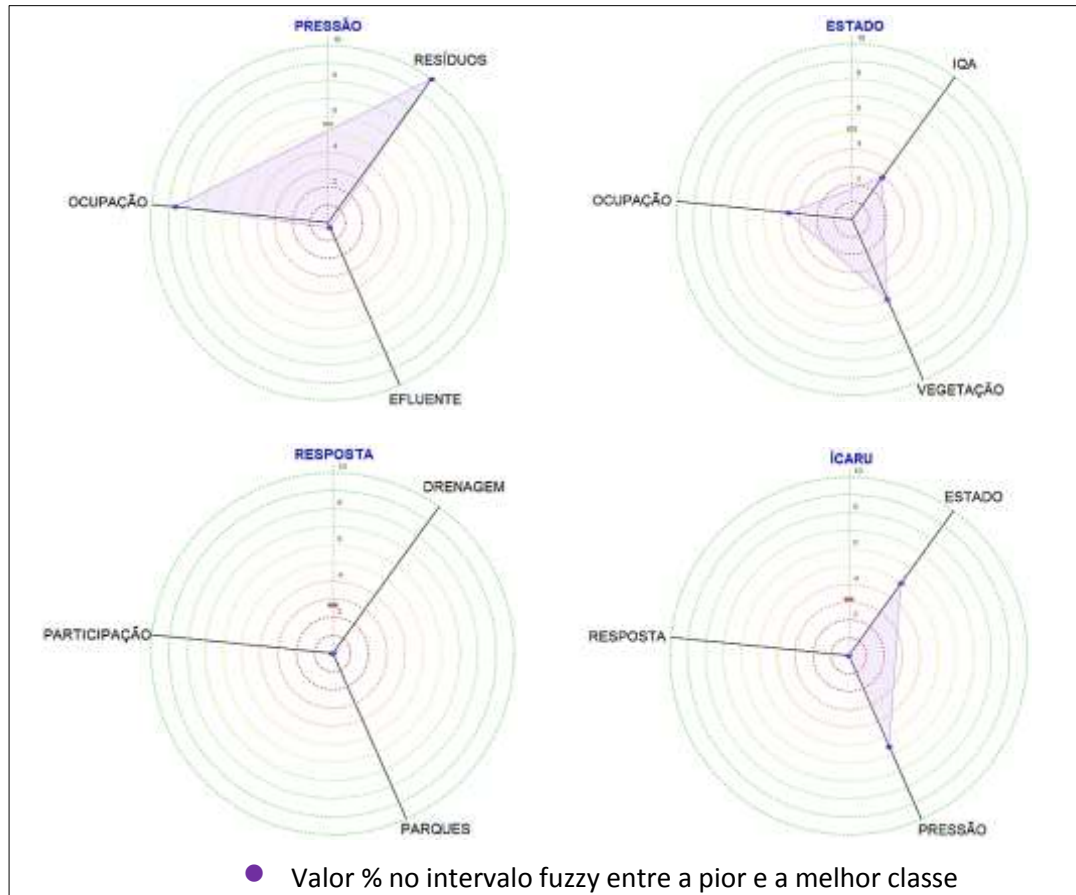
Fonte: O Autor (2019).

Figura 6 – ÍCARU (centro de gravidade) do trecho 2 do riacho do Cavouco.



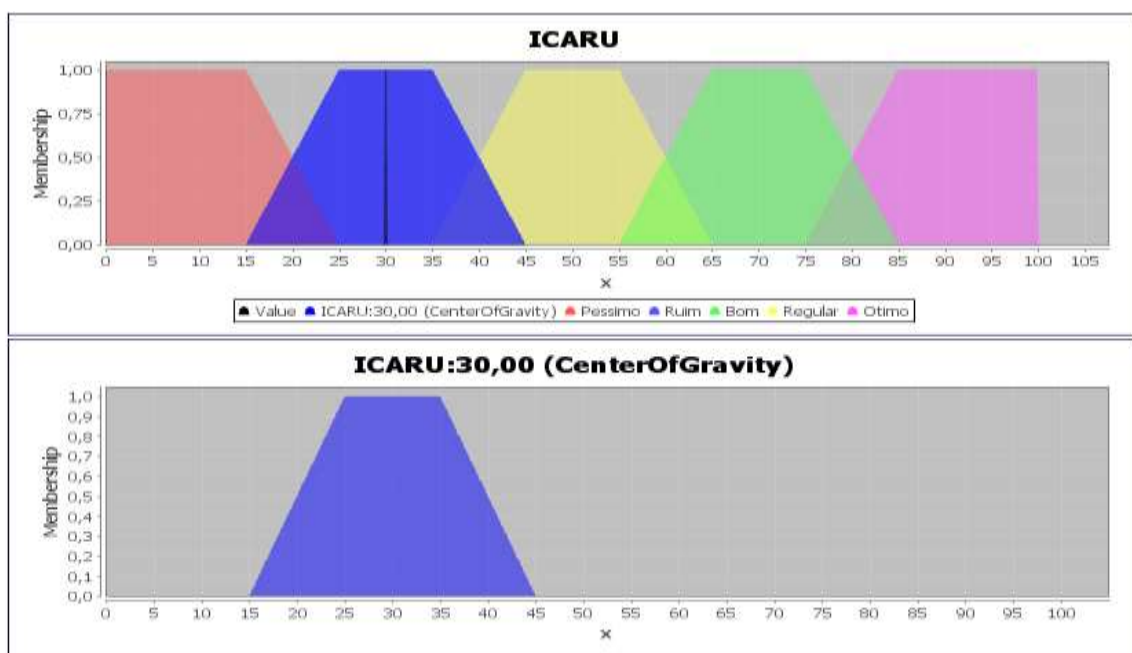
Fonte: O Autor (2019).

Figura 7 – Comparativo qualitativo dos sub índices Pressão, Estado e Resposta e ÍCARU, trecho 3 do riacho do Cavouco.



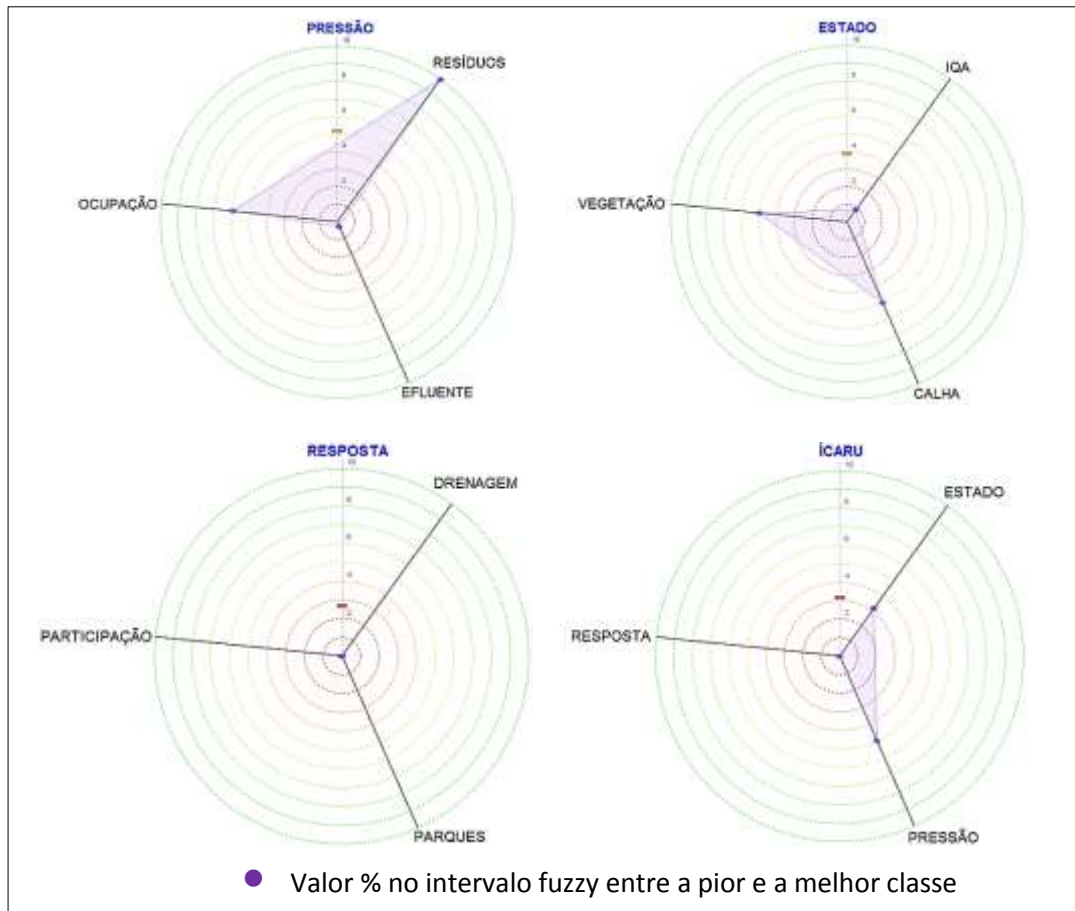
Fonte: O Autor (2019).

Figura 8 – ÍCARU (centro de gravidade) do trecho 3 do riacho do Cavouco.



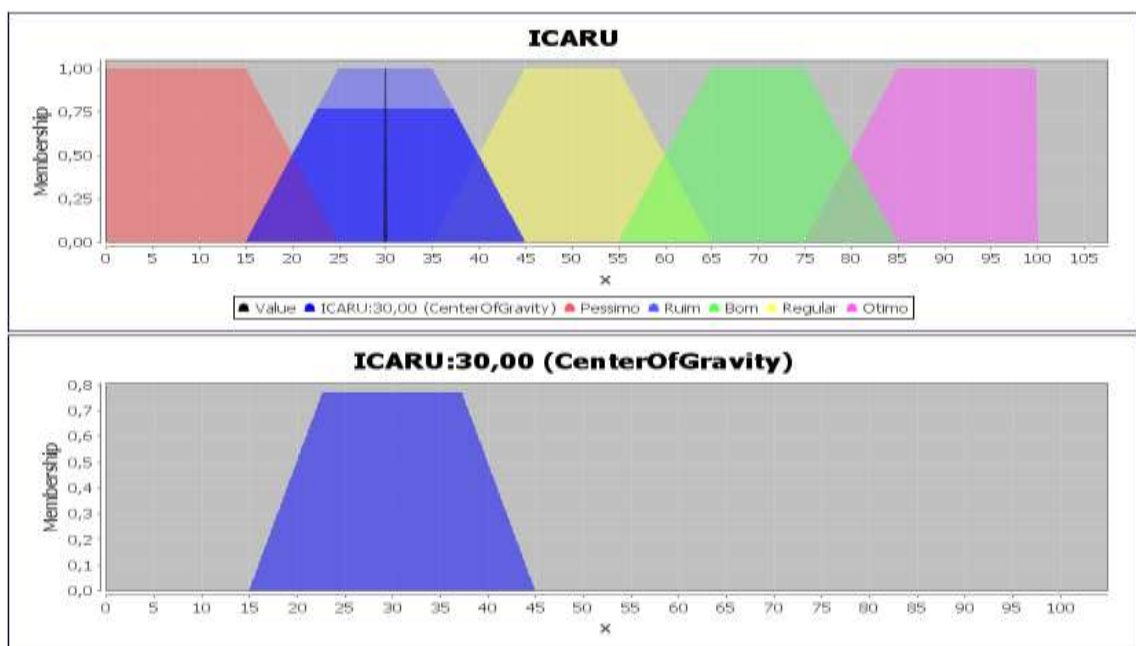
Fonte: O Autor (2019).

Figura 9 – Comparativo qualitativo dos sub índices Pressão, Estado e Resposta e ÍCARU, trecho 4 do riacho do Cavouco.



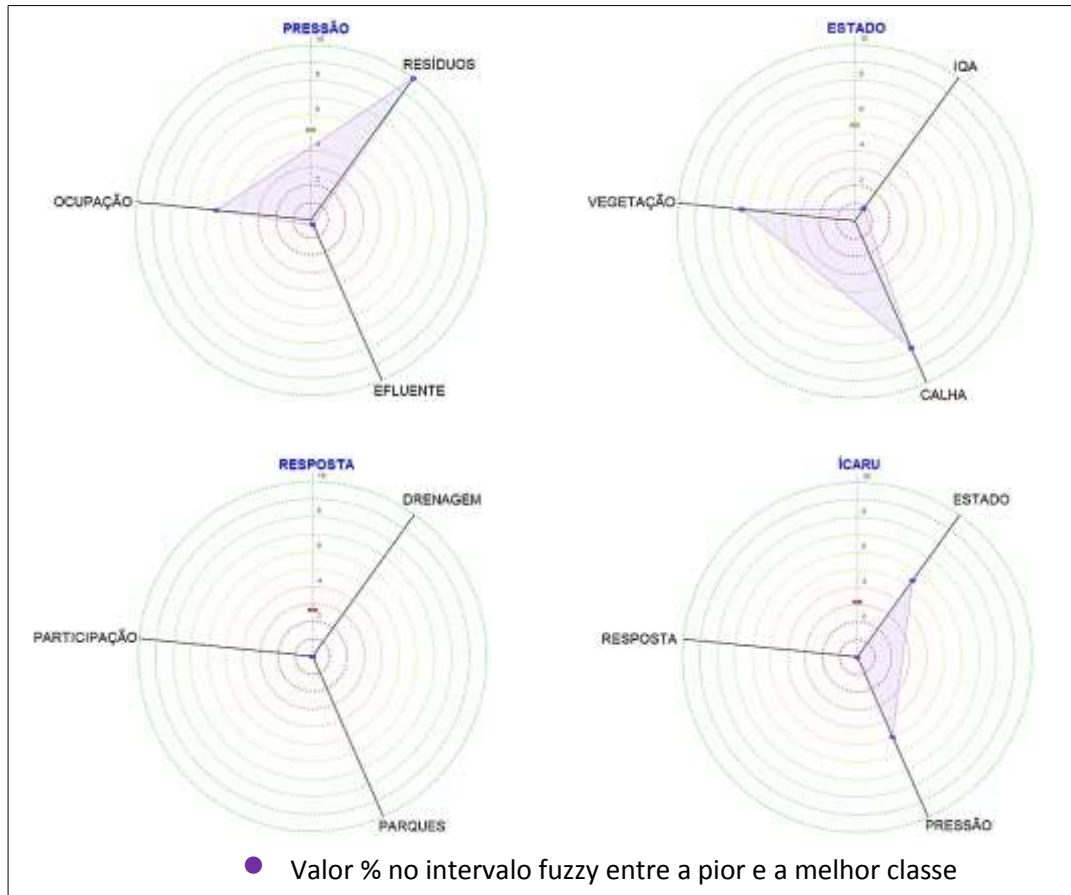
Fonte: O Autor (2019).

Figura 10 – ÍCARU (centro de gravidade) do trecho 4 do riacho do Cavouco.



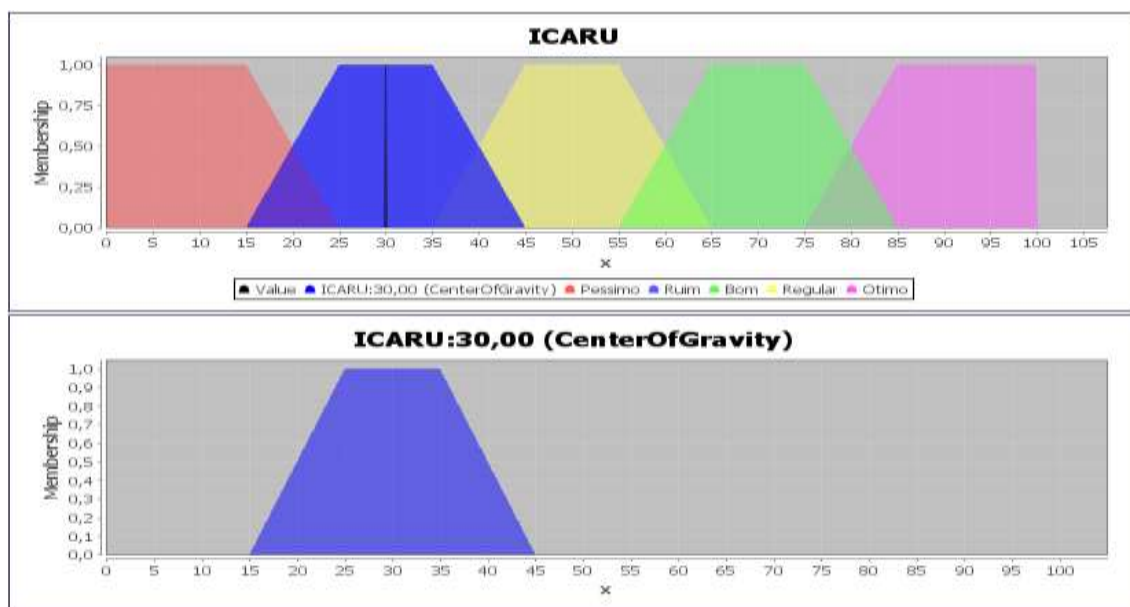
Fonte: O Autor (2019).

Figura 11 – Comparativo qualitativo dos sub índices Pressão, Estado e Resposta e ÍCARU, trecho 5 do riacho do Cavouco.



Fonte: O Autor (2019).

Figura 12 – ÍCARU (centro de gravidade) do trecho 5 do riacho do Cavouco.



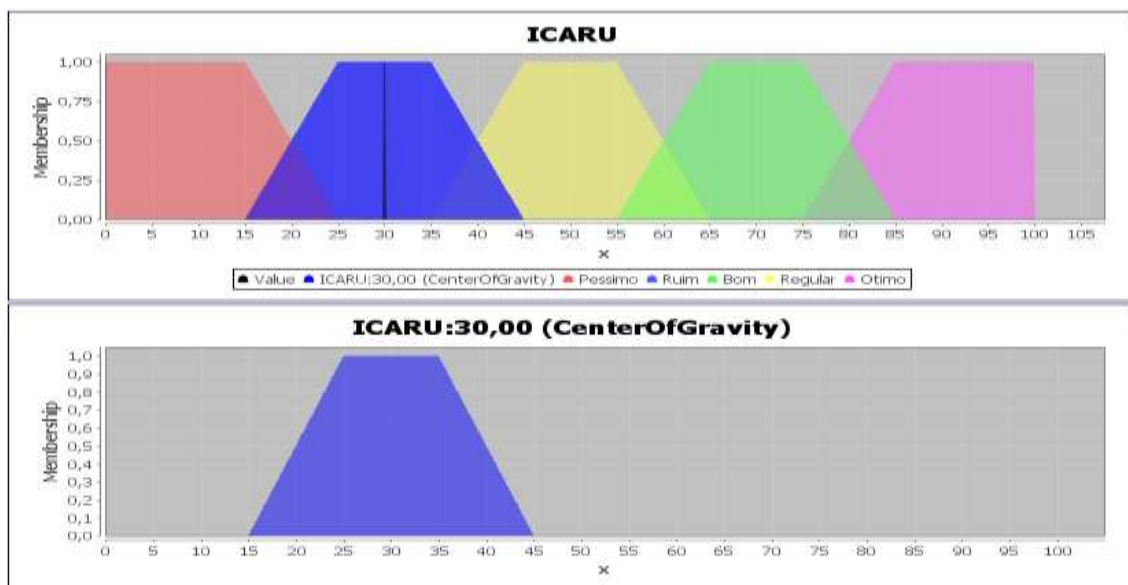
Fonte: O Autor (2019).

Figura 13 – Comparativo qualitativo dos sub índices Pressão, Estado e Resposta e ÍCARU, trecho 1 do riacho Parnamirim.



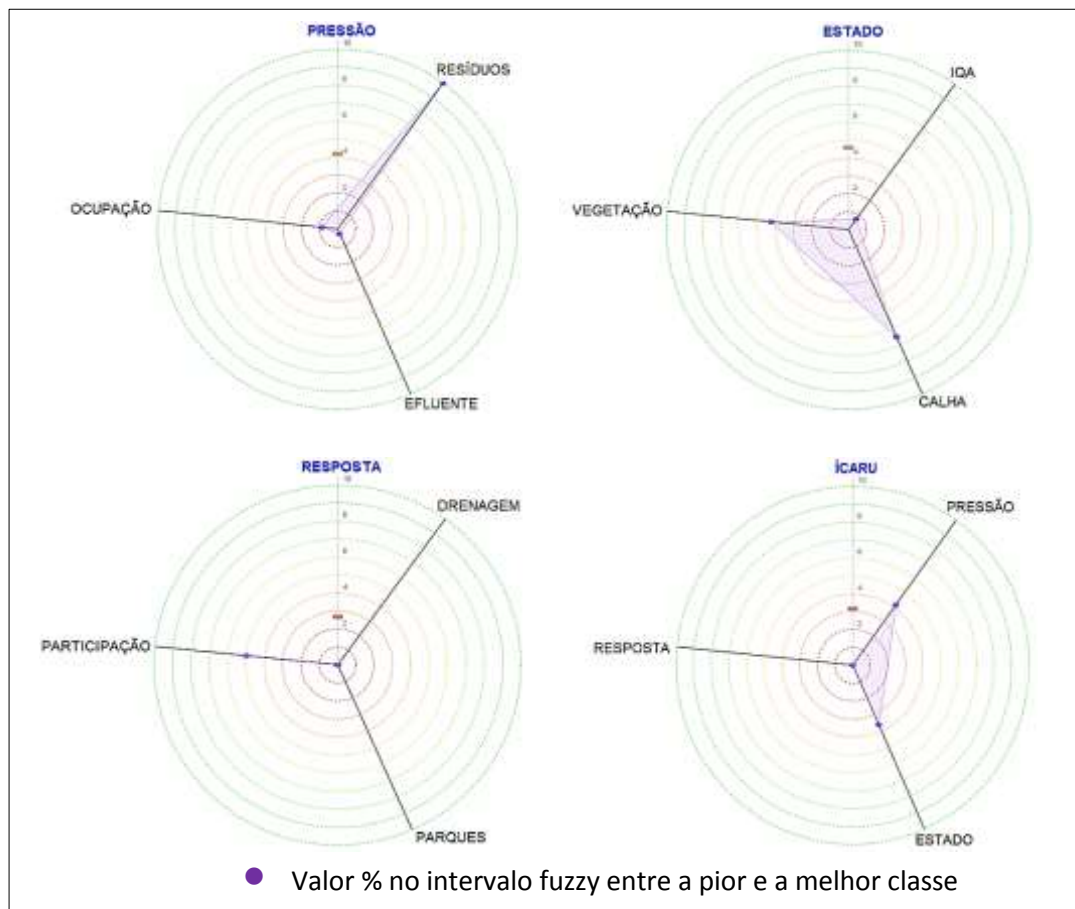
Fonte: O Autor (2019).

Figura 14 – ÍCARU (centro de gravidade) do trecho 1 do riacho Parnamirim.



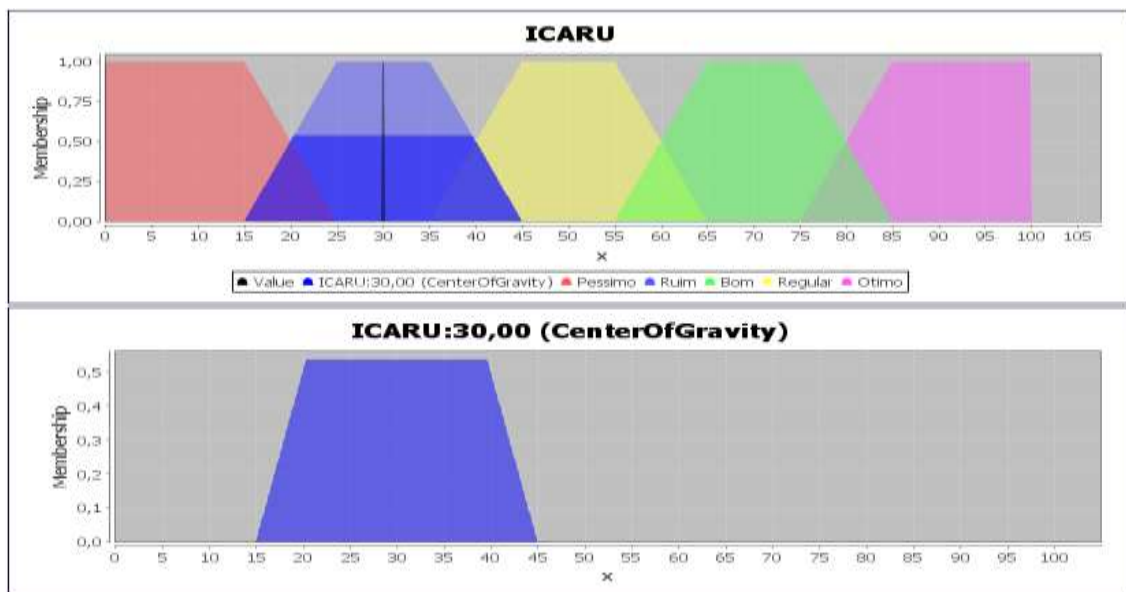
Fonte: O Autor (2019).

Figura 15 – Comparativo qualitativo dos sub índices Pressão, Estado e Resposta e ÍCARU, trecho 2 do riacho Parnamirim.



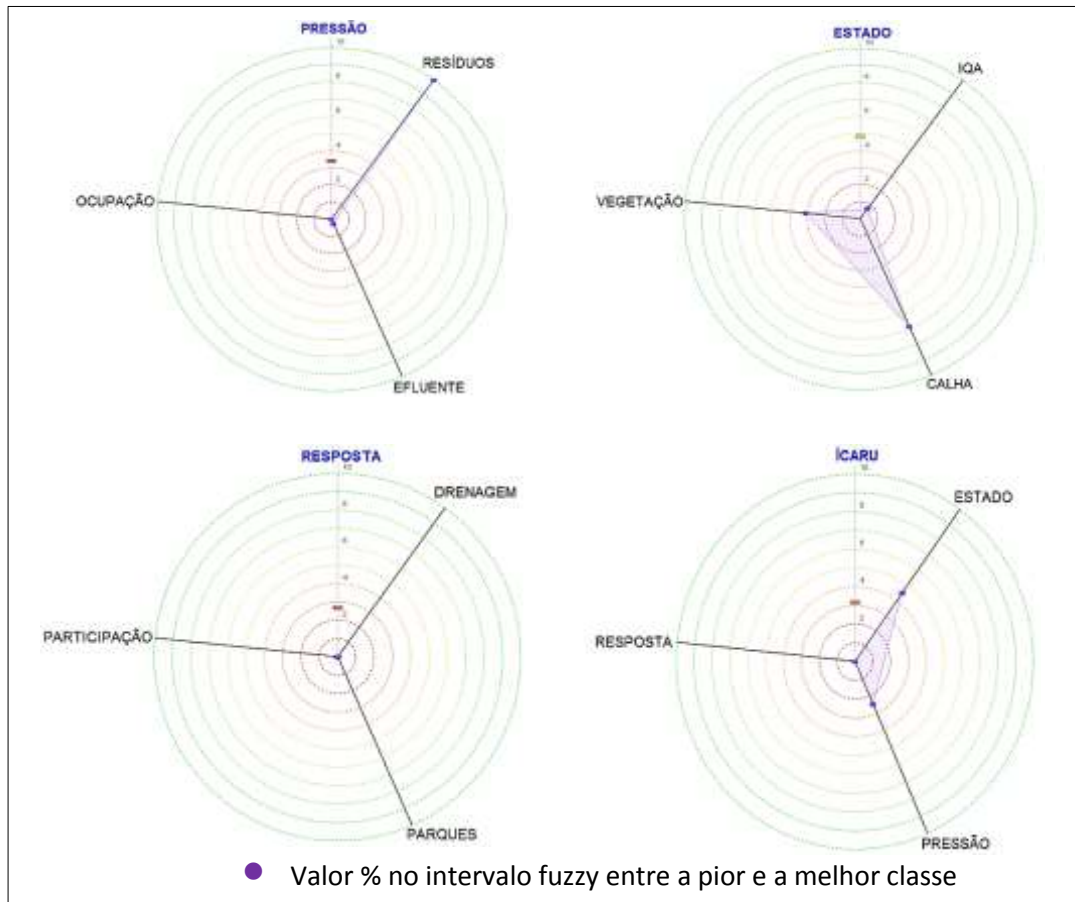
Fonte: O Autor (2019).

Figura 16 – ÍCARU (centro de gravidade) do trecho 2 do riacho Parnamirim.



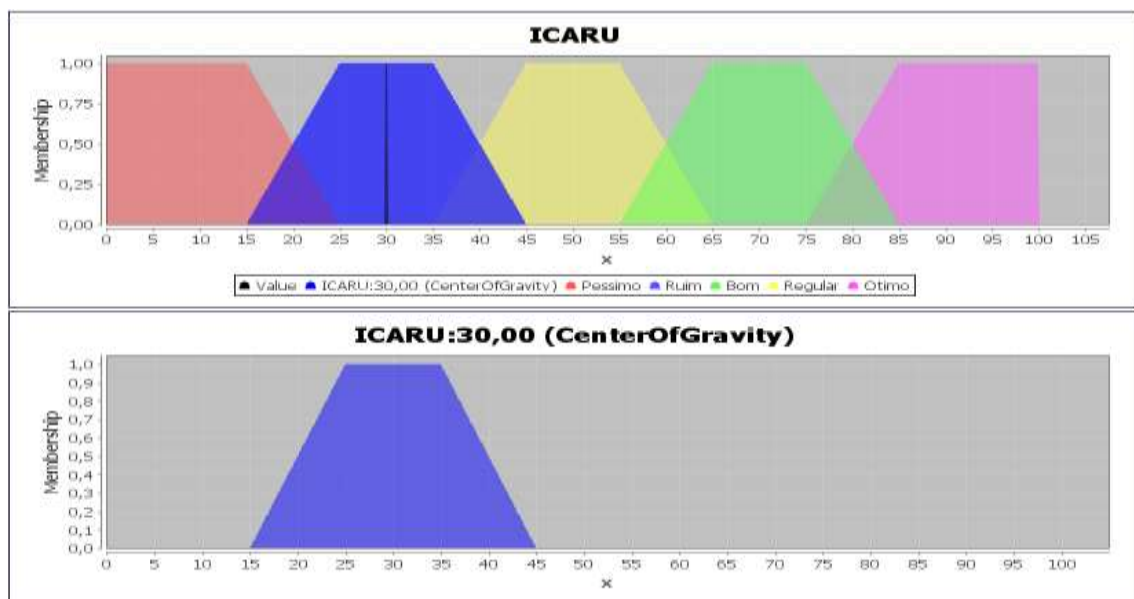
Fonte: O Autor (2019).

Figura 17 – Comparativo qualitativo dos sub índices Pressão, Estado e Resposta e ÍCARU, trecho 3 do riacho Parnamirim.



Fonte: O Autor (2019).

Figura 18 – ÍCARU (centro de gravidade) do trecho 3 do riacho Parnamirim.



Fonte: O Autor (2019).

O ÍCARU apresentou resultados satisfatórios, refletindo a conservação dos riachos estudados, entretanto, apresentou algumas limitações. Por exemplo, o indicador taxa de coleta e destinação final adequada de resíduos sólidos teve uma relevância alta no cálculo do sub indicador Pressão, pois, de acordo com os dados oficiais, essa taxa é de 100% para o Recife. No entanto, identificou-se uma quantidade considerada de resíduos sólidos na calha dos riachos do Cavouco e Parnamirim.

Por outro lado, verificou-se que o indicador taxa de coleta e tratamento de efluente sanitário é o que mais afeta negativamente o sub indicador Pressão. Apesar da Companhia Pernambucana de Saneamento (Compesa) não disponibilizar o percentual de coleta e tratamento de esgoto por bairros que compõem a micro bacia do riacho, não comprometeu a análise, pois a pressão exercida afeta diretamente o Índice de Qualidade da Água, mensurado no sub indicador Estado. Ademais, foram verificados lançamentos clandestinos e até, possivelmente, *by pass* da rede coletora, que não são contabilizados nos dados oficiais.

Já o sub índice Resposta demonstra que pouco se fez em relação a conservação dos riachos urbanos no Recife. As intervenções realizadas se preocuparam em canalizar e priorizar a infraestrutura viária. Essa concepção não aumenta a conservação do riacho, podendo piorá-la com a impermeabilização da calha e favorecer a visão de canal de recebimento de resíduos e esgoto. Entretanto, ainda existem trechos que poderiam ser revitalizados com a proposta de parques lineares para favorecer a aproximação das pessoas e gerar o sentimento de cuidado com o corpo hídrico.

Outro fator que afetou negativamente este sub índice foi a não publicação em lei do Plano de Drenagem Sustentável do Recife, que já está elaborado desde 2017. Esse fato pode restringir o acesso a recursos que visam melhorar o sistema de drenagem (a partir de medidas que promovam a infiltração da água no solo) e diminuir o impacto nos riachos. Além disso, com a lei instituída, dificulta a alteração desta concepção de drenagem sustentável por gestões posteriores.

4 Considerações finais

O Sistema Baseado em Regras Difusas (SBRD) criado para calcular o Índice de Conservação de Riachos Urbanos (ÍCARU) se mostrou uma ferramenta eficiente, de fácil aplicação e interpretação, quando aplicado aos riachos do Cavouco e Parnamirim no Recife. Por meio dos gráficos gerados é possível visualizar de forma qualitativa a influência de cada indicador, na composição dos sub indicadores Pressão, Estado e Resposta e no ÍCARU. A ferramenta consegue traduzir de forma clara, com base em dados medidos em campo, por imagens de satélite e em dados oficiais, a conservação do riacho urbano.

Os riachos do Cavouco e Parnamirim apresentaram para quase todos os trechos o ÍCARU ruim. Alguns trechos que já passaram por um processo de requalificação priorizou a infraestrutura viária na APP, com a canalização, impermeabilização da calha e diminuição da vegetação nas margens. Essa concepção impacta negativamente a infiltração de água no solo e a conectividade lateral do riacho com o lençol freático. Essa concepção de projeto não propicia o uso social dos riachos e dificulta a relação harmônica das pessoas com esses ambientes.

Em outros trechos dos riachos a calha encontra-se em estado natural, entretanto sofrem degradação devido ao lançamento de esgoto ocupação por edificações irregulares. Todavia, são locais com grande potencial de revitalização em que pode ser adotado o conceito de parques lineares para incentivar o uso a conservação do riacho do Cavouco e Parnamirim. Recomenda-se que a população esteja envolvida desde o planejamento do projeto e pós-obra, com a realização de atividades de educação ambiental.

5 Referências

- BARROS, L. C.; BASSANEZI, R. C.; LODWICK, W. A. **A First Course in Fuzzy Logic, Fuzzy Dynamical Systems, and Biomathematics**. Springer, 2017. 299 p.
- BERNHARDT, E. S.; PALMER, M. A. Restoring streams in an urbanizing world. **Freshwater Biology**, v. 42, Issue 4, p. 738-741, 2007.
- BÖHRINGER, C.; JOCHEM, P. E. P. Measuring the immeasurable - a survey of sustainability indices. **Ecological Economics**, v. 63, p. 1-8, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.03.008>.

BOOTH, D. B. et al. Global perspectives on the urban stream syndrome. **Freshwater Science**, v. 35(1), p. 412-420, 2016. DOI: 10.1086/684940.

BRAGA, R. A. P. et al. Informações hidráulicas e hidrológicas para renaturalização do riacho Parnamirim. In: XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2009, Campo Grande. **Anais....** Porto Alegre: ABRH, 2009. v. 1, p. 1-10.

BRION, N. et al. Assessing the Impacts of Wastewater Treatment Implementation on the Water Quality of Small Urban River Over the Past 40 Years. **Environ Sci Pollut Res.**, v. 22, Issue 16, p. 12720-12736, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-015-4493-8>.

CABRAL, J. J. S. P.; PREUSS, S. L. C.; FONSECA NETO, G. C. Capibaribe e seus afluentes na planície de recife: visão multidisciplinar de um rio urbano e sua importância para o sistema de drenagem das águas pluviais. . In: **Anais do XII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste**. ABRH: Natal, 2014. Disponível em: http://www.abrh.org.br/xiisrhna/apresentacoes/pap018397_jaimcabral_09h15_ok.pdf. Acesso em: 18 ago. 2017.

CAPPS, K. A.; BENTSEN, C. N.; RAMÍREZ, A. Poverty, urbanization, and environmental degradation: urban streams in the developing world. **Freshwater Science**, v. 35(1), p. 429-435, 2016. DOI: 10.1086/684945.

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

COMETTI, J. L. S.; CABRAL, J. J. S. P.; SANTOS, F. P.; CONCEICAO, T. M. Avaliação temporal (2016-2017) e espacial do Índice de Qualidade da Água dos riachos do Cavouco e Parnamirim, Recife-PE. In: Editora Poisson. (Org.). **Sustentabilidade e Responsabilidade Social em Foco**. 1.ed. Belo Horizonte: Poisson, 2019, v. 13, p. 12-27. DOI: 10.5935/978-85-7042-068-3.

CPRH – Agência Estadual de Meio Ambiente de Pernambuco. **Quem vai salvar o rio?** Recife: CPRH, 2018. 38p.

DENG, X.J. et al. Assessment of river health based on an improved entropy-based fuzzy matter-element model in the Taihu Plain, China. **Ecol. Indic.**, v. 57, p. 85-95, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.04.020>.

_____. Establishment and application of the index system for urban river health assessment. **Acta Ecol. Sin**, v. 34, p. 993-1001, 2014. DOI:10.3390/w11061190.

FRISCHENBRUDER, M. T. M.; PELLEGRINO, P. Using greenways to reclaim nature in Brazilian cities. **Landscape and Urban Planning**, n. 76, p. 67-78, 2006. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2004.09.043.

GARCIA, X. et al. Placing ecosystem services at the heart of urban water systems management. **Science of The Total Environment**, v. 563-564, p. 1078-1085, set. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.05.010>

GOLDSCHMIDT, R.R. **Uma Introdução à Inteligência Computacional**: fundamentos, ferramentas e aplicações. Rio de Janeiro: IST-Rio, 2010. 142 p.

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. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.080>.

JIA, Y. T.; CHEN, Y. F. River health assessment in a large river: Bioindicators of fish population. **Ecol. Indic.**, v. 26, p. 24-32, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.10.011>

KONDOLF, G. M.; PINTO, P. J. The social connectivity of urban rivers. **Geomorphology**. v. 277, p. 182-196, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.09.028>.

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. DOI: <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2427.1999.00442>.

LIMA, H. P.; MASSRUH, A. S. M. F. S. **Sistema FuzzyGen**: Manual Do Usuário. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2009, 24 p. (Embrapa Informática Agropecuária. Documentos, 96).

MARTÍNEZ, P. C. El árbol en el ecosistema urbano: relaciones entre nuevo urbanismo, sociedad y gestión racional del riesgo. **Ing. Univ.**, Bogotá, v. 20, n.1, jan./jun. 2016 DOI: <http://dx.doi.org/10.11144/Javeriana.iyu20-1.tuec>

NERI, A. C.; DUPIN, P.; SANCHEZ, L. E. A pressure-state-response approach to cumulative impact assessment. **Journal of Cleaner Production**, v. 126, p. 288-298, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.02.134>.

OECD - Organisation for Economic Co-operation and Development - OECD Environmental Indicators. **Development, Measurement and Use - Reference Paper**. 2003. Disponível em: <http://www.oecd.org/env/>. Acesso em: 05 set. 2019.

PALMER, M. A. et al. 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. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2007.00244.x>. Acesso em: 18 set. 2018.

PARSONS, M.; THOMS, M. C.; FLOTEMERSCH, J.; REID, M. A. "Monitoring the Resilience of Rivers as Social–Ecological Systems: A Paradigm Shift for River

Assessment in the Twenty-First Century.” In: GREENWOOD, M. T.; THOMS, M. C.; WOOD P. J. (Ed.). **River Science: Research and Management for the 21st Century** Chichester. New Jersey: Wiley-Blackwell, 2016. p. 197-222.

PINSONNEAULT, A.; KRAEMER, K. L. Survey research in management information systems: an assesment. **Journal of Management Information System**, v. 10, p. 75-105, 1993. DOI: 10.1080/07421222.1993.11518001.

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>. Acesso em: 20 jun. 2019.

RECIFE. **Manual de Drenagem e Manejo das Águas Pluviais do Recife**. Secretaria de Infra-Estrutura e Serviços Urbanos – SISUR/ Empresa de Manutenção e Limpeza Urbana – EMLURB. Recife, 2016a. 145p.

_____. **Cadastro de Canais da Cidade do Recife**. Secretaria de Infra-Estrutura e Serviços Urbanos – SISUR/ Empresa de Manutenção e Limpeza Urbana – EMLURB. Recife, 2016b. 389p.

_____. **Conselho da Cidade do Recife**. Disponível em: <http://conselhodacidade.recife.pe.gov.br/> acesso em setembro de 2019.

SALES, R. J. 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**, n. 194, p. 104-118, jan./abr. 2014. DOI: 10.4322/dae.2014.007.

SANTOS, S. A. et al. 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. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.04.076>.

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.

TUCCI, C. E. M. Indicador de Sustentabilidade Hídrica Urbana. **REGA**, v. 14, e. 7, 2017. DOI: 10.21168/rega.

WHOL, E. et al. River Restoration. **Water Resources Research**, v. 41, p. 1-12, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1029/2005WR003985>.

ZHANG, K. et al. Urban River Health Analysis of the Jialu River in Zhengzhou City Using the Improved Fuzzy Matter-Element Extension Model. **Water**, v. 11, Issue 1190, 2019. DOI:10.3390/w11061190.

ZIMMERMANN, H. J. **Fuzzy set theory and its applications**. Springer Science & Business Media, 2011. 514 p.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

*Era cedinho do dia
e o rio se banhou feliz
nas águas feitas de sonhos.
O rio, que está por um triz.
(CPRH, 2018)*

Historicamente a forma de urbanização de várias cidades brasileiras está atrelada à falta de planejamento, ocasionando impactos ambientais diversos. Seja pela ocupação irregular de encostas e de margens inundáveis de cursos d'água ou de restingas, seja pelo modelo higienista, intensificado nas décadas de 1950 e 1960, que aterrou e canalizou rios e riachos urbanos. Essas práticas proporcionaram a degradação desses ambientes aquáticos, afetando negativamente as suas funções ecológicas e a qualidade de vida das pessoas.

A recuperação dos serviços ambientais e sociais de rios e riachos urbanos tem sido uma tendência mundial na tentativa de tornar as cidades mais sustentáveis. Existem vários casos em cidades na Europa, Estados Unidos, Ásia e também no Brasil. Os projetos buscam, majoritariamente, criar uma infraestrutura de parques urbanos ao longo dos cursos d'água, integrado ao sistema de drenagem e favorável a preservação de espécies animais e vegetais, assim como favorecer o contato das pessoas com a água. A concepção de parques lineares tem sido apontada como uma das soluções viáveis para a conservação ambiental desses ecossistemas.

Nesse sentido, o Índice de Conservação Ambiental de Riachos Urbanos (ÍCARU) se mostrou uma ferramenta viável para diagnosticar a condição atual, possibilitar extrair cenários e subsidiar decisões referentes às intervenções nesses ambientes. O ÍCARU é considerado de fácil aplicação e compreensão e oferece ao usuário que a incerteza seja modelada de acordo com as complexidades do ecossistema de um riacho urbano. Dessa forma, poderá ser utilizado pelos diversos atores envolvidos no monitoramento e avaliação de projetos de revitalização e direcionar ações que promovam a melhoria da qualidade ambiental urbana.

A seleção dos indicadores para compor o ÍCARU foi a etapa mais complexa deste trabalho, pois existe uma grande lista disponível na literatura. Entretanto, vários desses indicadores sugeridos tem sua utilização comprometida no Brasil, devido à baixa disponibilidade de dados. Além disso, é preciso sempre ter em mente

que a função do indicador é simplificar a quantidade de informações de um determinado fenômeno, apresentar suas tendências ao longo do tempo e comunicar de forma clara com todos os níveis da sociedade.

Os nove indicadores selecionados foram avaliados como muito importante para compor o ÍCARU por um grupo multidisciplinar de 52 especialistas que atuam na temática de rios e riachos urbanos, seja no âmbito acadêmico, governamental, não governamental ou privado. O grupo apresentou grande congruência nas respostas e divergiu em poucos indicadores. A confiabilidade das respostas foi avaliada como aceitável pelo teste Alfa de Cronbach. A escolha também considerou a simplicidade e clareza, disponibilidade do dado, baixo custo de obtenção e facilidade de aplicação do indicador.

O modelo Pressão-Estado-Resposta (PER) é o marco ordenador mais utilizado na análise de indicadores da área ambiental e do Desenvolvimento Sustentável. A classificação dos indicadores no sistema PER neste trabalho apresentou de forma bastante clara, nos casos estudados, a compreensão do que está acontecendo com o ecossistema (Estado), os causadores de degradação ambiental (Pressão) e como a sociedade está agindo a respeito (Resposta). O método PER mostrou-se adequado para avaliar a conservação de riachos urbanos.

Outra grande contribuição deste trabalho é o Sistema Baseado em Regras Difusas (SBRD) para calcular o ÍCARU, desenvolvido computacionalmente em linguagem Java e que pode ser disponibilizado na web para livre acesso. O aplicativo tem uma interface amigável, intuitiva e permite ao usuário a inserção de dados referentes aos nove indicadores do trecho do riacho a ser estudado. Já no processo de inferência é possível acompanhar, por meio de gráficos, as funções de pertinência e as regras fuzzy estabelecidas. Os resultados são disponibilizados na forma de gráficos do tipo radar e centro de gravidade, em que é possível perceber a magnitude de cada indicador e sua influência nos sub índices PRESi, ESTi e RESPi e no ÍCARU.

A aplicação da lógica Fuzzy neste trabalho foi fundamental para que a complexidade das variáveis ambientais e sociais pertinentes aos riachos urbanos pudesse ser modelada e traduzida em variáveis linguísticas de fácil compreensão.

O conceito de lógica Fuzzy é apropriado ao trato de variáveis que envolvem incertezas e subjetividades, menor precisão e maior significância, características pertinentes às formas do raciocínio humano e sua complexidade. Assim como em outros trabalhos descritos na literatura, a lógica Fuzzy apresentou resultados satisfatórios para calcular o ÍCARU, demonstrando o grau de conservação dos riachos do Cavouco e Parnamirim no Recife.

O riacho do Cavouco e Parnamirim apresentaram trechos com o ÍCARU igual a regular e ruim. Um dos principais problemas é o lançamento de esgoto sanitário sem tratamento, a ocupação das margens e a carência de políticas públicas voltadas à participação da sociedade na governança dos riachos urbanos. Apesar de alguns trechos já terem passado por um processo de revitalização, observa-se que a impermeabilização da calha e a deficiente estrutura de lazer às margens, também impacta negativamente na conservação desses riachos.

Para avançar no processo de revitalização dos riachos do Cavouco e Parnamirim, este estudo sugere algumas medidas que deverão ser adotadas para assegurar a sua conservação a partir da análise do ÍCARU. O Quadro 3 apresenta uma descrição das intervenções propostas, divididas nos 5 cinco trechos estudados do riacho do Cavouco e o Quadro 4 as medidas para o riacho Parnamirim.

Como a nascente do Cavouco está dentro da área da Universidade Federal de Pernambuco, poderia ser adotada com um projeto piloto para iniciar as medidas de revitalização. Assim como, em outro trecho dentro da universidade que apresentou valores medianos de oxigênio dissolvido igual a 3,7 mg/L e onde também foi verificado a presença de peixes, fica evidente a possibilidade de melhorar seu estado de conservação e ampliar as funções ecológicas e sociais do riacho do Cavouco para a Cidade Universitária.

Quadro 3 – Principais problemas e propostas para revitalização do riacho do Cavouco.

Trecho	Principais problemas	Descrição das medidas estruturais para revitalização
Laguinho da UFPE	Ausência da mata ciliar.	Recomposição da vegetação ciliar com o plantio de espécies nativas da Mata Atlântica. Revitalização do dique para contemplação do lago e a ampliação de equipamentos como bancos e mesas.
Bairro da Várzea	Urbanização desordenada com residências em cima da calha. Lançamento de esgoto doméstico.	Desapropriação das construções irregulares e remanejamento da população. Dragagem de sedimentos para ampliar o perímetro do canal. Enriquecimento da vegetação arbórea ciliar com espécies nativas. Ampliação da coleta e tratamento de esgoto doméstico.
UFPE	Lançamento de efluentes químicos. Canalização em concreto.	Tratamento do efluente químico e sanitário oriundos de laboratórios. Recomposição e enriquecimento da vegetação arbórea ciliar. Criação de um parque com infraestrutura de esportes e lazer na área entre o Centro de Tecnologia e Geociências – CTG e o Centro de Artes e Comunicação – CAC.
Bairro do Cordeiro	Lançamento de esgoto doméstico e resíduos sólidos.	Criação de um parque linear com equipamentos de esporte e lazer, pavimentação permeável das vias às margens do riacho, no trecho entre a Rua General Vargas e Rua Manoel Estevão da Costa. Implantação de sistema de drenagem com dispositivo de retenção de resíduos sólidos. Construção de taludes em forma de escada. Recomposição e enriquecimento da vegetação arbórea ciliar.
Bairro da Iputinga	Urbanização desordenada com residências em cima do leito. Lançamento de esgoto doméstico.	Desapropriação das construções irregulares e remanejamento da população. Dragagem de sedimentos para ampliar o perímetro do canal. Enriquecimento da vegetação arbórea ciliar com espécies nativas. Ampliação da coleta e tratamento de esgoto doméstico. Na área do Parque Caiara, ampliar a vegetação ciliar com a criação de habitats para aves e mamíferos.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Algumas medidas já foram adotadas no trecho do bairro do Cordeiro, como a requalificação urbana, com a construção de taludes com vegetação, calçadas e pistas para bicicletas e carros. Embora a faixa de proteção seja pequena, percebe-se o favorecimento do uso das margens do riacho pela população, para caminhadas e práticas esportivas. Além disso, contribui para sensibilização das pessoas para

adoção de medidas protetivas desse ecossistema, evidenciado pela implantação de jardins por alguns moradores.

Quadro 4 – Principais problemas e propostas para revitalização do riacho Parnamirim.

Trecho	Principais problemas	Descrição das medidas estruturais para revitalização
Rua Jerônimo Albuquerque x Samuel Lins	Lançamento de esgoto doméstico sem tratamento.	Efetivação do tratamento do esgoto sanitário que é coletado nos bairros de Casa Forte e Casa Amarela. Enriquecimento da vegetação arbórea ciliar e destinação da área como preservação.
Rua Samuel Lins x Av. 17 de Agosto	Urbanização desordenada com residências em cima da calha. Lançamento de esgoto doméstico.	Desapropriação das construções irregulares e remanejamento da população que ainda está no local. Ampliação da coleta e tratamento de esgoto doméstico. Recomposição da vegetação ciliar e criação de estruturas de lazer e contemplação com pavimentos permeáveis.
Av. 17 de Agosto x rio Capibaribe	Lançamento de esgoto doméstico. Canalização em concreto.	Enriquecimento da vegetação ciliar. Criação de ciclovia nas margens com pavimento permeável, ligando a Estrada do Encanamento à Av. 17 de Agosto. Tratamento do esgoto sanitário.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Prefeitura do Recife já iniciou as obras de revitalização do segundo trecho do riacho Parnamirim com a construção de um residencial na rua Lemos Torres para abrigar 192 famílias que foram retiradas de moradias irregulares sobre a calha do riacho. A obra levou 8 anos para ser concluída e foi entregue em 2018. Entretanto, o projeto inicial da prefeitura é de construir uma rua nas margens do riacho para integrar a Av. 17 de Agosto à Estrada do Encanamento e uma ponte na rua do Marques.

A abertura de novas vias para tráfego de veículos tem se mostrando uma medida ineficaz em médio prazo para melhorar a mobilidade urbana. Portanto, a partir da análise dos indicadores do ÍCARU, sugerimos a implantação de um parque linear nessa área, com a recomposição da vegetação ciliar e a instalação de equipamentos de esporte, lazer e contemplação. Além de melhorar a conservação do riacho do Parnamirim, a área verde poderá criar habitats para animais como cágados e capivaras que já foram avistadas recentemente nas proximidades.

Além das medidas estruturais propostas acima para a revitalização dos riachos do Cavouco e Parnamirim, são importantes também as medidas não estruturais. As obras ocasionam desapropriações, interdição de vias, entre outros transtornos. Contudo, um projeto de revitalização de um rio urbano deve considerá-

los como espaços de oportunidades ambientais, sociais, econômicas e culturais. Portanto, é necessária uma ação intersetorial para que a implementação do projeto ocorra sob uma sinergia de ações e gestão das instituições públicas, dada a complexidade e diversidade de atores envolvidos.

Nesse sentido a participação deve ser um caminho duplo que reúne o conhecimento da comunidade ao conhecimento científico. Portanto, a educação ambiental é a principal ferramenta para garantir a participação, principalmente da comunidade a ser impactada positiva e negativamente, de forma direta ou indireta, nos processos decisórios é fundamental para o sucesso do projeto de revitalização dos riachos urbanos. Ademais, a instalação de equipamentos de esporte, lazer e cultura nas margens dos riachos promovem a circulação de pessoas e pode contribuir para o fortalecimento de uma cultura voltada à conservação ambiental.

Recomenda-se que o ÍCARU seja amplamente aplicado nas diversas regiões do Brasil, tentando estabelecer backgrounds e possíveis calibrações, considerando o tamanho do riacho, o porte das cidades e o contexto onde estão inseridos. Comparações entre riachos que já passaram por processos de revitalização também podem ser executadas para avaliar as técnicas aplicadas e definir as melhores estratégias de conservação para os riachos urbanos. O SBRD construído pode ser melhorado e ampliado aos rios, com modificação de regras e indicadores, sempre com a avaliação e o consenso de especialistas.

A metodologia aqui proposta pode ser utilizada em outros estudos ambientais, como por exemplo, para estabelecer o índice de qualidade ambiental do estado de Pernambuco. A definição de indicadores e a criação de um SBRD é recomendado neste caso, em que a complexidade de integrar os diversos recursos ambientais, seus usos, disponibilidade e potencial ecológico devem ser considerados. Dessa forma, será possível obter uma ferramenta de avaliação e acompanhamento do meio ambiente e correlacionar com as ações do órgão de controle ambiental.

REFERÊNCIAS

ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária. **Ranking ABES da Universalização do Saneamento**. 2019. 105 p. Disponível em: http://abes-dn.org.br/pdf/Ranking_2019.pdf. Acesso em: 07 jun. 2019.

ACAR, C.; BESKESE, A.; TEMUR, G. T. Sustainability analysis of different hydrogen production options using hesitant fuzzy AHP. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 43, p. 18059-18076, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.08.024>.

AFONSO, J. A. C. **Renaturalização e Revitalização de Rios Urbanos: uma abordagem sistêmica**. 2011. Dissertação (mestrado) - Pós-Graduação em Gestão Urbana, Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2011.

ALVES, G. P. M. et al. Caracterização do esgoto sanitário coletado na cidade de Passo Fundo-RS. **Teoria e Prática na Engenharia Civil**, n. 10, p. 25-29, 2007.

ANA – Agência Nacional de Águas. **Indicadores de Qualidade - Índice de Qualidade das Águas (IQA)**. Disponível em: <http://portalpnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx>. Acesso em: 20 de ago. 2018.

ANA - Agência Nacional de Águas. Panorama da qualidade das águas superficiais do Brasil: 2012. **Agência Nacional de Águas**, Brasília, 2012. 264p.

APHA – American Public Health Association. **Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater**, 22. ed. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. Washington, DC, 2012.

ARAÚJO, M. C.; Oliveira, M.B.M. Avaliação da qualidade hídrica do riacho cavouco por meio de variáveis físicas e químicas da água. In: Maria Betânia Melo de Oliveira; Gilberto Gonçalves Rodrigues; Kenia Valença Correa. (Org.). **Riacho Cavouco: que riacho é esse?**. 1ed. Recife: Editora UFPE, 2014, v.1 , p. 19-32.

BAL-DOMANSKA, B. Spatial-Temporal Analysis of Selected Socio-Economic Problems Related to Sustainable Development in the Pressure-State-Response Framework. **Folia Oeconomica**, v. 2, n. 328, p. 92-110, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.18778/0208-6018.328.06>.

BARROS, L. C.; BASSANEZI, R. C.; LODWICK, W. A. **A First Course in Fuzzy Logic, Fuzzy Dynamical Systems, and Biomathematics**. Springer, 2017. 299p.

BARROS, L. C.; BASSANEZI, R. C.; LODWICK, W. A. **A First Course in Fuzzy Logic, Fuzzy Dynamical Systems, and Biomathematics**. Springer, 2017. 299 p.

BARROS, L. C.; BASSANEZI, R.C.; LODWICK, W. A. **A First Course in Fuzzy Logic, Fuzzy Dynamical Systems, and Biomathematics**. Springer, 2017. 299 p.

BENETTI, L. B. **Avaliação do índice de desenvolvimento sustentável do município de Lages (SC) através do método do Painel de Sustentabilidade.**

2006. 215f. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Curitiba, 2006.

BENNETT, N. J. Using perceptions as evidence to improve conservation and environmental management. **Society Conservation Biology**, v. 30(3), p. 582-592, 2016. DOI: 10.1111/cobi.12681.

BERNHARDT, E. S.; PALMER, M. A. River restoration: the fuzzy logic of repairing reaches to reverse catchment scale degradation. **Ecological Applications**, v. 21, n. 6, p. 1926-1931, 2011. DOI: 10.2307/41416628.

BERNHARDT, E. S.; PALMER, M. A. Restoring streams in an urbanizing world. **Freshwater Biology**, v. 42, Issue 4, p. 738-741, 2007. DOI: 10.1111/j.1365-2427.2006.01718.x.

BERNHOF, R. A. Mercury toxicity and treatment: a review of the literature. **Journal of Environmental and Public Health**, v. 2012, 2012, 10 p. DOI: <http://dx.doi.org/10.1155/2012/460508>.

BHASKAR, A. S. et al. Will it rise or will it fall? Managing the complex effects of urbanization on baseflow. **Freshwater Science**, v. 35, p. 293-310, 2016. DOI: 10.1086/685084.

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

BITTER, J. et al. Approach to Sustainability Assessment of Renewable Energy Technologies combining Fuzzy Logic with the Integrative Sustainability Triangle. **International Journal of Sustainable Energy Development (IJSED)**, v. 5, Issue 1, jun. 2016. DOI: 10.20533/ijsed.2046.3707.2016.0033.

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. DOI:10.1023/a:1010743124570.

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. DOI: <https://doi.org/10.1080/1573062X.2015.1076860>.

BÖHRINGER, C.; JOCHEM, P. E. P. Measuring the immeasurable - a survey of sustainability indices. **Ecological Economics**, v. 63, p. 01-08, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.03.008>.

BOLLMANN, H. A.; EDWIGES, T. Avaliação da qualidade das águas do Rio Belém, Curitiba-PR, com o emprego de indicadores quantitativos e perceptivos. **Eng. sanit. ambiente.**, Rio de Janeiro, p. 443-452, out./dez. 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/esa/v13n4/a13v13n4.pdf>. Acesso em: 16 ago. 2018.

BOOTH, D. B. et al. Global perspectives on the urban stream syndrome. **Freshwater Science**, v. 35, n 1, p. 412-420, 2016. DOI: 35:412–420.

BOOTH, D. B.; FISCHENICH, C. J. A Channel Evolution Model to Guide Sustainable Urban Stream Restoration. **Area**, v. 47, issue 4, p. 408-421, 2015. DOI: 10.1111/area.12180.

BOTTANI, E.; GENTILOTTI, M. C.; RINALDI, M. A Fuzzy Logic-Based Tool for the Assessment of Corporate Sustainability: A Case Study in the Food Machinery Industry. **Sustainability**, v. 9, n. 583, 2017. DOI:10.3390/su9040583.

BOURDIN, A. **A questão local**. Rio de Janeiro: DP&A, 2001. 240 p.

BRACHET, C.; THALMEINEROVA, D. **The Handbook for Management and Restoration of Aquatic Ecosystems in River and Lake Basins**. INBO, GWP, IOW, 2015. 100p.

BRAGA, B. et al. **Introdução à Engenharia Ambiental**. São Paulo: Prentice Hall, 2013. 305 p.

BRAGA, R. A. P. et al. Informações hidráulicas e hidrológicas para renaturalização do riacho Parnamirim. In: XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2009, Campo Grande. **Anais....** Porto Alegre: ABRH, 2009. v. 1, p. 1-10.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução Nº 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/lei/l11079.htm. Acesso em: 25 jan. 2017.

BRION, N. et al. Assessing the Impacts of Wastewater Treatment Implementation on the Water Quality of Small Urban River Over the Past 40 Years. **Environ Sci Pollut Res.**, v. 22, Issue 16, p. 12720-12736, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-015-4493-8>.

CABRAL, J. J. S. P. et al. A problemática da drenagem urbana em áreas planas costeiras no nordeste brasileiro. In: **Anais... V Seminário Nacional de Drenagem Urbana e I Seminário de Drenagem Urbana do MERCOSUL**, Porto Alegre, v. 1, p. 18-34, 2004.

CABRAL, J. J. S. P. et al. Início da mudança de paradigma em relação aos cuidados com os rios e riachos urbanos em Recife. In: **Anais... XXI Simpósio Brasileiro de Recursos hídricos**. ABRH: Brasília, 2015. Disponível em: http://www.evolvedoc.com.br/sbrh/detalhes-842_inicio-da-mudanca-de-paradigma-em-relacao-aos-cuidados-com-os-rios-e-riachos-urbanos-em-recife. Acesso em: 18 ago. 2017.

CABRAL, J. J. S. P.; PREUSS, S. L. C.; FONSECA NETO, G. C. Capibaribe e seus afluentes na planície de recife: visão multidisciplinar de um rio urbano e sua importância para o sistema de drenagem das águas pluviais. In: **Anais... XII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste**. ABRH: Natal, 2014. Disponível em: http://www.abrh.org.br/xiisrh/apresentacoes/pap018397_jaimecabral_09h15_ok.pdf. Acesso em: 18 ago. 2017.

CAPPS, K. A.; BENTSEN, C. N.; RAMÍREZ, A. Poverty, urbanization, and environmental degradation: urban streams in the developing world. **Freshwater Science**, v. 35(1), p. 429-435, 2016. DOI: 10.1086/684945.

CARDINALE, B. J. et al. Biodiversity loss and its impact on humanity. **Nature**, v. 486, p. 59-67, 2012. Doi:10.1038/nature11148.

CARDOSO, A.S.; BAPTISTA, M.B. Metodologia multicriterial para orientação de processos decisórios relativos a intervenções em cursos de água em áreas urbanas. **REGA**, v. 10, n. 1, p. 51-67, jan./jun. 2013. DOI: 10.21168/rega.v10n1.p51-67.

CARMONA, P.; FUENTES, C. de; RUIZ, C. Risk disclosure analysis in the corporate governance annual report using fuzzy-set qualitative comparative analysis. **Revista de Administração de Empresas**, v. 56, n. 3, p. 342-352, maio/jun. 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0034-759020160307>.

CARVALHO, A. P.; BALDUINO, A. R.; MACIEL, G. F.; PICANÇO, A. P. Avaliação da poluição em rios utilizando índices de qualidade da água: um estudo de caso no ribeirão São João em Porto Nacional –TO. **Geociências**, v. 35, n. 3, p. 472-484, 2016. Disponível em <http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/GEOSP/article/view/9527/8875>. Acesso em: 20 ago. 2018.

CARVALHO, A. T. F.; SILVA, O. G.; CABRAL, J. J. 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. Disponível em: https://www.revistageociencias.com.br/geociencias-arquivos/36/volume36_1_files/36-1-artigo-06.pdf. Acesso em: 08 set. 2018.

CARVALHO, M. B. **A3: metodologia de avaliação e construção de indicadores**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2009. 216 p.

CARVALHO, P.; BRAGA, R. Da Negação à Reafirmação da Natureza na Cidade: o conceito de “renaturalização” como suporte à política urbana. **Grupo de Pesquisa Análise e Planejamento Territorial – GPAPT**, 2003. Disponível em: <http://www.rc.unesp.br/igce/planejamento/gpapt/Artigos%20pdf%20final/pompeu%20PDF/CARVALHO%20e%20BRAGA%20Simpurb%20Recife%202003.pdf>. Acesso em: 3 fev. 2019.

CAVALCANTE, C. E. M. H.; SILVA, V. L.; SALGUEIRO, A. A. Avaliação microbiológica da água do Riacho Cavouco, Recife - PE. **Higiene Alimentar**, v. 12 n.57, p. 45-49, set.-out., 1998.

CENGIZ, B. Urban River Landscapes. In: InTech (Org.). **Advances in Landscape Architecture**., 2013. p. 552-586.

CEPAL, Naciones Unidas. Indicadores de Sustentabilidade Ambiental y de Desarrollo Sostenible: estado del arte y perspectivas. **Division de medio ambiente y asentamientos humanos**, Serie Manuales, Santiago de Chile, n. 16, 2001. 251p.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Guia nacional de coleta e preservação de amostras**: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos. Brasília: ANA, 2011. 326 p. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2012/GuiaNacionalDeColeta.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2018.

_____. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo 2016**. São Paulo: CETESB, 2017. 301 p. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2018/06/Relat%C3%B3rio-de-Qualidade-das-%C3%81guas-Interiores-no-Estado-de-S%C3%A3o-Paulo-2017.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2018.

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

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

COMETTI, J. L. S.; CABRAL, J. J. S. P.; SANTOS, F. P.; CONCEICAO, T. M. Avaliação temporal (2016-2017) e espacial do Índice de Qualidade da Água dos riachos do Cavouco e Parnamirim, Recife-PE. In: Editora Poisson. (Org.). **Sustentabilidade e Responsabilidade Social em Foco**. 1.ed. Belo Horizonte: Poisson, 2019, v. 13, p. 12-27. DOI: 10.5935/978-85-7042-068-3.

COSTA, A. B. et al. Desenvolvimento e aplicação de índices de qualidade da água. **Caderno de Pesquisa Serie Biologia**, v. 24, n. 1, p. 67- 78, jan./abr. 2012.

COSTA, R. et al. Características físico-químicas dos esgotos e das águas do Riacho Cavouco no percurso dentro do campus da UFPE. In: **Anais... 53º Congresso Brasileiro de Química**. Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <http://www.abq.org.br/cbq/2013/trabalhos/6/index.html>. Acesso em: 20 ago. 2018.

COUTTS, A. M.; DALY, E.; BERINGER, J.; TAPPER, N. J. Assessing practical measures to reduce urban heat: Green and cool roofs. **Building and Environment**, v. 70, p. 266-276, dec. 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.08.021>.

COY, Martin. A interação rio-cidade e a revitalização urbana: experiências europeias e perspectivas para a América Latina. **Confinis**, n. 18, 2013. URL: <http://journals.openedition.org/confinis/8384>. DOI: 10.4000/confinis.8384.

CPRH – Agência Estadual de Meio Ambiente de Pernambuco. **Quem vai salvar o rio?** Recife: CPRH, 2018. 38p.

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.

DALMAS, F. B. et al. Reflexos do uso e ocupação do solo na qualidade da água do rio Embu-Guaçu, região metropolitana de São Paulo. **Geociências**, v. 34, n. 1, p.130-144, 2015. Disponível em: https://www.revistageociencias.com.br/geociencias-arquivos/34/volume34_1_files/34-1-artigo-11.pdf. Acesso em: 20 ago. 2018.

DANZ, N. P., et al. Environmentally stratified sampling design for the development of great lakes environmental indicators. **Environmental Monitoring and Assessment**, New York, n. 102, p. 41-65, 2005.

DAVIES, P. M. Climate Change Implications for River Restoration in Global Biodiversity Hotspots. **Restoration Ecology**. vol. 18, n. 3, p. 261-268, 2010. DOI: 10.1111/j.1526-100X.2009.00648.x.

DENG, X.J. et al. Assessment of river health based on an improved entropy-based fuzzy matter-element model in the Taihu Plain, China. **Ecol. Indic.**, v. 57, p. 85-95, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.04.020>.

_____. Establishment and application of the index system for urban river health assessment. **Acta Ecol. Sin**, v. 34, p. 993-1001, 2014. DOI:10.3390/w11061190.

DINIZ, F. R. Urbanização pela água. Vieses de ordenamento territorial e de gestão urbana. In: **Anais do XVI Enanpur**. Belo Horizonte: ANPUR, 2015. 18 p. Disponível em: <http://anais.anpur.org.br/index.php/anaisenanpur/article/view/2016/1995>. Acesso em: 15 ago. 2018.

_____. ME.DUSA: reflexões sobre um repertório de ação para recuperação de riachos urbanos na bacia do rio Capibaribe. In: **Anais do Encontro Nacional de Rede Observatório das Metrópoles**. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal/RN, 29-31 mar. 2017. Disponível em: https://cchla.ufrn.br/rmnatal/evento_2017/anais/ST6/me-dusa_reflexoes.pdf. Acesso em: 15 ago. 2018.

DOLL, B. et al. Can Rapid Assessments Predict the Biotic Condition of Restored Streams? **Water**, 2016, v. 8, n. 143. DOI:10.3390/w8040143.

EC - European Commission. **Directive** 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for community action in the field of water policy. Off. J. Eur. Communities, 2000. Disponível em: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:5c835afb-2ec6-4577-bdf8-756d3d694eeb.0004.02/DOC_1&format=PDF. Acesso em: 18 ago. 2017.

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

ESTEVEES, K. E.; ARANHA, J. M. R. Ecologia trófica de peixes de riachos. In: CARAMASCHI, E. P.; MAZZONI, R.; PERES-NETO, P. R. (Eds.). Ecologia de peixes de riachos. **Oecologia Brasiliensis**, Rio de Janeiro, v. 6, 1999. p. 157-182.

EWAID, S. H.; HUSSEIN, T. D.; EMRAN, F. K. Fuzzy Logic Inference Index to Assess the Water Quality of Tigris River within Baghdad City. **Al-Mustansiriyah Journal of Science**, v. 29, Issue 3, 2018. DOI: <http://doi.org/10.23851/mjs.v29i3.617>.

FAGUNDES, A. B. **Modelagem fuzzy para avaliação de desempenho ambiental do gerenciamento de resíduos sólidos industriais**. 2006. 214 p. Tese (Doutorado em Tecnologia) - Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

FERNANDES, B. M.; WELCH, C. A.; GONÇALVES, E. C. Land Governance in Brazil: A geo-historical review. **International Land Coalition**, Framing the Debate Series, Rome, n. 2, ILC, 2012. 62 p.

FERREIRA, J. C.; MACHADO, J. R. Infra-estruturas verdes para um futuro urbano sustentável. O contributo da estrutura ecológica e dos corredores verdes. **Revista LabVerde**, n. 1, p. 69-90, 2010. DOI: <https://doi.org/10.11606/issn.2179-2275.v0i1p69-90>.

FINDLAY, S. J.; TAYLOR, M. P. Why rehabilitate urban river systems? **Area**, v. 38, n. 3, p. 312-325, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1475-4762.2006.00696.x>.

FRANČIŠKOVIĆ-BILINSKI S. et al. Geochemical and stable isotopic variability within two rivers rising under the same mountain, but belonging to two distant watersheds. **Chemie der Erde-Geochemistry**, v. 73, p. 293-308, 2013. DOI: 10.1016/j.chemer.2013.02.004.

FRISCHENBRUDER, M. T. M.; PELLEGRINO, P. Using greenways to reclaim nature in Brazilian cities. **Landscape and Urban Planning**, n. 76, p. 67-78, 2006. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2004.09.043.

FRYIRS, K.; BRIERLEY, G. **Geomorphic Analysis of River Systems: An Approach to Reading the Landscape**. Chichester, UK: John Wiley e Sons, 2013. 360 p.

GANGA, G. M. D.; CARPINETTI, L. C. R.; POLITANO, P. R. Gestão do desempenho em cadeias de suprimentos usando lógica fuzzy. **Gest. Prod.**, São Carlos, v. 18, n. 4, p. 755-774, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-530X2011000400006>.

GAO, X.; SHI, C.; ZHAI, K. An Evaluation of Environmental Governance in Urban China Based on a Hesitant Fuzzy Linguistic Analytic Network Process. **Int. J. Environ. Res. Public Health**, v. 15, pii: E2456, 2018. DOI: 10.3390/ijerph15112456.

GARCIA, X. et al. Placing ecosystem services at the heart of urban water systems management. **Science of The Total Environment**, v. 563-564, p. 1078-1085, set. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.05.010>

GARCÍAS, C. M.; AFONSO, J. A. C. Revitalização de rios urbanos. **Gesta**, v.1, n.1, p.131-144, 2013.

GAVIÃO, L. O.; LIMA, G. B. A. Indicadores de sustentabilidade para a educação básica por modelagem fuzzy. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 19, n. 3, p. 274-297, set./dez. 2015. DOI: 105902/2236117015416.

GHARIBI, H. et al. A novel approach in water quality assessment based on fuzzy logic. **Journal of Environmental Management**, n. 112, p. 87-95, 2012. DOI: 10.1016/j.jenvman.2012.07.007.

GOLDSCHMIDT, R. R. **Uma introdução à inteligência computacional: fundamentos, ferramentas e aplicações**. Instituto Superior de Tecnologia do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010. 143 p.

GOLDSCHMIDT, R.R. **Uma Introdução à Inteligência Computacional: fundamentos, ferramentas e aplicações**. Rio de Janeiro: IST-Rio, 2010. 142 p.

GOMES, P. R; MALHEIROS, T. F. Proposta de análise de indicadores ambientais para apoio na discussão da sustentabilidade. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, Taubaté, v. 8, n. 2, p. 151-169, mai./ago. 2012. Disponível em: Disponível em: <http://www.rbgdr.net/revista/index.php/rbgdr/article/download/671/288>. Acesso em: 25 set. 2018.

GOMIDE, F. A. C.; LEITE, D; PALHARES, R.; CAMPOS, V. Evolving Granular Fuzzy Model-Based Control of Nonlinear Dynamic Systems. **IEEE Transactions on Fuzzy Systems**, v. 23, n.4 , p.923-938, 2014. DOI:10.1109/TFUZZ.2014.2333774.

GONZÁLEZ DEL TÁNAGO, M.; GARCÍA DE JALÓN, D. **Restauración de Ríos**. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, 2007. 318 p.

GROTE, J. R.; GBIKPI, Bernard (ed.). **Participatory governance**. Political and societal implications. Opladen: Leske + Budrich, 2002. 277 p.

HAIDER, H. et al. Sustainability assessment framework for small-sized urban neighbourhoods: An application of fuzzy synthetic evaluation. **Sustainable Cities and Society**, v. 36, p. 21-32, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scs.2017.09.031>.

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. DOI: <http://dx.doi.org/10.2307/1468176>.

HARMANCIOGLU, N. B.; OZKUL, S. A.; ALPASLAN, M. N. Water monitoring and network design. In: HARMANCIOGLU, N. B.; SINGH, V. P.; ALPASLAN, M. N. (Ed.) **Environmental data management**. The Hague: Kluwer Academic Publishers, 1998. p. 61-100.

HERZOG, C. P. **Cidades para todos: (re) aprendendo a conviver com a natureza**. 1. ed. Rio de Janeiro: Inverde, 2013. 330 p.

HERZOG, C. P.; ROSA, L. Z. Infraestrutura verde: sustentabilidade e resiliência para a paisagem urbana. **Revista Labverde**, n. 1, p. 92-115, 2010. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/revistalabverde/article/view/61281/64217>. Acesso em: 15 ago. 2018.

HIRST, P. Democracy and governance. In: J. Pierre (Org.). **Debating governance: authority, steering and democracy**. New York: Oxford University Press, p. 13-35, 2000. <http://dx.doi.org/10.1002/2013WR013988>.

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. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.080>.

HUGHEY, K. F. D. et al. Application of the pressure-state-response framework to perceptions reporting of the state of the New Zealand environment. **J. Environ. Manag.** v. 70, p. 85-93, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2003.09.020>.

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. 343-361.

JACOBI, P. R.; FRACALANZA, A. P.; SILVA-SÁNCHEZ, S. Governança da água e inovação na política de recuperação de recursos hídricos na cidade de São Paulo. **Cadernos Metrópole**, v. 17, n. 33, p. 61-81, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/2236-9996.2015-3303>.

JAYAWICKRAMAA, H. M. M. M.; KULATUNGAA, A. K.; MATHAVAN, S. Fuzzy AHP based Plant Sustainability Evaluation Method. **Procedia Manufacturing**, v. 8, p. 571-578, 2017. DOI: 10.1016/j.promfg.2017.02.073.

JIA, Y. T.; CHEN, Y. F. River health assessment in a large river: Bioindicators of fish population. **Ecol. Indic.**, v. 26, p. 24-32, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.10.011>

JORGENSEN, S.E. Introduction. In: JORGENSEN, S.E.; COSTANZA, R.; XU, F.L. (Ed.). **Handbook of ecological indicators for assessment of ecosystem health**. New York: CRC Press Taylor & Francis Group, 2005. 126 p.

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. DOI: 10.9734/BJAST/2015/14975.

KAGEYAMA, P. Y.; GANDARA, F.B. Recuperação de áreas ciliares. In: RODRIGUES, R.R.; LEITÃO FILHO, H.F. (ed.). **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. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.09.028>.

KOOIMAN, J. Governance. A social-political perspective. In: GROTE, J. R; GBIKPI, B. (Eds.). **Participatory governance**. Political and societal implications. Opladen: Leske + Budrich, p. 71-96, 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. DOI: <http://dx.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. DOI: <https://doi.org/10.3832/for0723-006>.

LARSON, L. R. et al. Ecosystem services and urban greenways: What's the public's perspective? **Ecosystem Services**, v. 22, p. 111-116, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2016.10.004>.

LARSON, R.; FARBER, B. **Estatística Aplicada**. 4. ed. São Paulo: Ed. Pearson, 2010. 640 p.

LEVREL, H. et al. Oecd pressure-state-response indicators for managing biodiversity: A realistic perspective for a French biosphere reserve. **Biodivers. Conserv.**, v. 18, p. 1719-1732, 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10531-008-9507-0>.

LIBANIO, Marcelo. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 4. ed. Campinas: Átomo, 2016. 640 p.

LIMA, H. P.; MASSRUH, A. S. M. F. S. **Sistema FuzzyGen**: Manual Do Usuário. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2009, 24 p. (Embrapa Informática Agropecuária. Documentos, 96).

LISBOA, A. H. Projeto Manuelzão: uma experiência de revitalização de rios em Minas Gerais, Brasil. In: MACHADO, A.T.G.M. **Revitalização dos rios no mundo**. Belo Horizonte: Instituto Guaicury, 2010, p. 13-16.

LONDE, V.; SOUSA, H. C.; KOZOVITS, A. R. Key plant indicators for monitoring areas undergoing restoration: A case study at the das Velhas River, southeast Brazil. **Ecological Engineering**, n. 103, p. 191-199, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.04.012>.

MACEDO, D. R.; CALLISTO, M.; MAGALHÃES, A. P. Restauração de cursos d'água em áreas urbanizadas: perspectivas para a realidade brasileira. RBRH. **Revista**

Brasileira de Recursos Hídricos, v. 16, n. 3, p. 127-139, jul./set. 2011. DOI: 10.21168/rbrh.v16n3.p127-139.

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. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/sn/v23n1/05.pdf>. Acesso em: 15 set. 2018.

MAMDANI, E. H. Applications of Fuzzy Logic to Approximate Reasoning using Linguistic Synthesis. **IEEE Trans. Computers**, v. 126, p. 1182-1191, 1977. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TC.1977.1674779>.

MARICATO, E. **Brasil, cidades**: alternativas para a crise urbana. Petrópolis: Editora Vozes, 2000. 204p.

MARTÍNEZ, P. C. El árbol en el ecosistema urbano: relaciones entre nuevo urbanismo, sociedad y gestión racional del riesgo. **Ing. Univ.**, Bogotá, v. 20, n. 1, jan./jun. 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.11144/Javeriana.iyu20-1.tuec>.

MASNAVI, M. R. et al. Restoration and Reclamation of the River Valleys' Landscape Structure for Urban Sustainability using FAHP Process, the Case of Northern Tehran-Iran. **Int. J. Environ. Res.**, v. 10(1), p. 193-202, 2016. Disponível em: https://ijer.ut.ac.ir/article_56901_84eec282f1f71d8c8de77afe8758b9d7.pdf. Acesso em: 18 set. 2018.

MONACO, P. A. V. L. et al. Tratamento de esgoto sanitário utilizando coagulante natural seguido de filtro orgânico. **Rev. Caatinga**, Mossoró, v. 27, n. 1., p. 28 -40, 2014. Disponível em: <https://periodicos.ufersa.edu.br/index.php/caatinga/article/view/2614>. Acesso em: 20 ago. 2018.

NALLUSAMY, S. et al. Environmental sustainability evaluation for an automobile manufacturing industry using multi-grade fuzzy approach. **International Journal of Engineering Research in Africa**, v. 19, p. 123-129, 2016. DOI: 10.4028/www.scientific.net/JERA.19.123.

NAMSUNG. **Revitalização do rio Cheonggyencheon em Seul, Coreia do Sul, antes, durante e depois**. Disponível em: http://namsung.or.kr/OkBBS_sub.php?iOkBBSAId=1&iBBSIdx=1946. Acesso em: 10 set. 2019.

NERI, A. C.; DUPIN, P.; SANCHEZ, L. E. A pressure-state-response approach to cumulative impact assessment. **J. Clean. Prod.** v. 126, p. 288-298, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.02.134>.

OECD - Organisation for Economic Co-operation and Development - OECD Environmental Indicators. **Development, Measurement and Use - Reference Paper**. 2003. Disponível em: <http://www.oecd.org/env/>. Acesso em: 05 set. 2019.

OECD – ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT. **Environmental indicators: development, measurement and use.** Paris: Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico, 2003. 37 p. Disponível em: <http://www.oecd.org/environment/indicators-modelling-outlooks/24993546.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2018.

_____. **Water Governance Indicators and Measurement Frameworks.** OECD Water Governance Initiative. 2015. Disponível em: http://www.oecd.org/gov/regional-policy/Inventory_Indicators.pdf. Acesso em: 06 jun. 2019.

OLIVEIRA, G. 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. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0034-7612136179>.

OLIVEIRA, M. D. et al. Nova abordagem do Índice de Qualidade de Água Bruta utilizando a Lógica Fuzzy. **Eng Sanit Ambient**, v.19, n. 4, p. 361-372, out./dez. 2014 DOI: 10.1590/S1413-41522014019000000803.

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. et al. 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. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2007.00244.x>. Acesso em: 18 set. 2018.

PALMER, M. A. et al. Standards for ecologically successful river restoration. **Journal of Applied Ecology**, v. 42, p. 208-217, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2005.01004.x>. Acesso em: 18 set. 2018.

PALMER, M. A.; HONDULA, K. L.; KOCH, B. J. Ecological restoration of streams and rivers: Shifting strategies and shifting goals. **Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics**, v. 45, p. 247-269, 2014. DOI: 10.1146/annurev-ecolsys-120213-091935.

PARSONS, M.; THOMS, M. C.; FLOTEMERSCH, J.; REID, M. A. “Monitoring the Resilience of Rivers as Social–Ecological Systems: A Paradigm Shift for River Assessment in the Twenty-First Century.” In: GREENWOOD, M. T.; THOMS, M. C.; WOOD P. J. (Ed.). **River Science: Research and Management for the 21st Century** Chichester. New Jersey: Wiley-Blackwell, 2016. p. 197-222.

PEDRYCZ, W.; GOMIDE, F. A. C. **An Introduction to Fuzzy Sets: Analysis and Design.** MIT Press, 1998. 490 p.

PELLEGRINO, P. R. M. et al. A paisagem da borda: uma estratégia para a condução das águas, da biodiversidade e das pessoas. In: COSTA, Lucia Maria Sá Antunes (org). **Rios e Paisagens Urbanas em Cidades Brasileiras.** Rio de Janeiro: Viana e Mosley Editora, 2006. 192 p.

PETTS, J. Learning about learning: lessons from public engagement and deliberation on urban river restoration. **The Geographical Journal**, v. 173, n. 4, p. 300-311, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1475-4959.2007.00254.x>.

PINSONNEAULT, A.; KRAEMER, K. L. Survey research in management information systems: an assesement. **Journal of Management Information System**, v. 10, p. 75-105, 1993. DOI: 10.1080/07421222.1993.11518001.

PIRATOBA, A. R. A. et al. Caracterização de parâmetros de qualidade da água na área portuária de Barcarena, PA, Brasil. **Rev. Ambient. Água**, Taubaté, v. 12, n. 3, mai./jun. 2017. DOI: 10.4136/ambi-agua.1910. DOI: 10.4136/ambi-agua.1910.

PIRES, Roberto R. C. (org.). **Efetividade das instituições participativas no Brasil: estratégias de avaliação**. 4ª edição. Brasília: IPEA, 2011. 372 p.

PIVELI, R. P.; KATO, M. T. **Qualidade das Águas e Poluição**: Aspectos Físicos-Químicos. Rio de Janeiro: ABES, 2006. 285p.

POMPÊO C. A. Drenagem urbana sustentável. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, ABRH, v. 5, n. 1, p. 15-23, 2000. DOI: 10.21168/rbrh.v5n1.p15-23.

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>. Acesso em: 06 jun. 2019.

POSTEL, S. L.; THOMPSON, J. R.; BARTON, H. Watershed protection: capturing the benefits of nature's water supply services. **Natural Resources Forum**, London, v. 29, n. 2, p. 98-108, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1477-8947.2005.00119.x>.

PROBST, W. N.; STELZENMULLER, V. A benchmarking and assessment framework to operationalise ecological indicators based on time series analysis. **Ecological Indicators**, v. 55, p. 94-106, aug. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.02.035>.

PUC-Rio - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. **Lógica Fuzzy**. Disponível em: https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/32823/32823_3.PDF. Acesso em: 20 ago. 2018.

QUINATTO, J. et al. Using the pollutant load concept to assess water quality in an urban river: the case of Carahá River (Lages, Brazil). **Rev. Ambient. Água**, Taubaté, v. 14, n. 1, 2019. ARTICLES. DOI:10.4136/ambi-agua.2252.

RAMOS, A. L. D.; SARTÓRIO, M. V. O.; SALDANHA, M. C.; COELHO, A. L. N. Avaliação visual de rios urbanos: metodologia e aplicação. **ACTA Geográfica**, Boa Vista, v.11, n.25, jan./abr. de 2017. pp. 159-184. DOI: <http://dx.doi.org/10.5654/acta.v11i25.4047>.

REANI, R. T.; SEGALLA, R. **A Situação do Esgotamento Sanitário na Ocupação Periférica de Baixa Renda em Áreas de Mananciais: Consequências Ambientais no Meio Urbano**. Brasília: mai. 2006. 14 p.

RECIFE, PREFEITURA DO. Relatório do diagnóstico do sistema de drenagem existente. Tomo I. ABF Engenharia. Recife, 2016.

_____. **Manual de Drenagem e Manejo das Águas Pluviais do Recife**. Secretaria de Infra-Estrutura e Serviços Urbanos – SISUR/ Empresa de Manutenção e Limpeza Urbana – EMLURB. Recife, 2016a. 145p.

_____. **Cadastro de Canais da Cidade do Recife**. Secretaria de Infra-Estrutura e Serviços Urbanos – SISUR/ Empresa de Manutenção e Limpeza Urbana – EMLURB. Recife, 2016b. 389p.

_____. **Atlas das Infraestruturas Públicas em Comunidades de Interesse Social do RECIFE**. Recife, 2015.

_____. **Projeto Capibaribe melhor – Relatório Avaliação Ambiental**. Secretaria de Planejamento Participativo, Obras e Desenvolvimento Urbano e Ambiental – URB. Recife, jan. 2006.

_____. **Conselho da Cidade do Recife**. Disponível em: <http://conselhodacidade.recife.pe.gov.br/> acesso em setembro de 2019.

REIS, R. P. A.; ILHA, M. S. 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. DOI: 10.1590/S1678-86212014000200006.

RIGOTTI, J. A.; POMPÊO, C. A.; FONSECA, A. L. D. O. Aplicação e análise comparativa de três protocolos de avaliação rápida para caracterização da paisagem fluvial. **Rev. Ambient. Água**, Taubaté, v. 11, n. 1, jan./mar. 2016. DOI:10.4136/ambi-agua.1732.

RIO DE JANEIRO. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. **Revitalização de rios: orientação técnica**. Rio de Janeiro: Semads, 2001. 258 p.

RODRÍGUEZ, A. E. et al. Dynamic Quality Index for agricultural soils based on fuzzy logic. **Ecological Indicators**, v. 60, p. 678-692, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.08.016>.

ROLO, D.A.O.M.; GALLARDO, A. L. C. F.; RIBEIRO, A.P. Revitalização de rios urbanos promovendo adaptação às mudanças climáticas baseada em ecossistemas: quais são os entraves e as oportunidades?. In: Encontro Nacional da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Planejamento Urbano e Regional, XVII, 2017, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, v. ST-8, 2017, p. 1-21.

ROONEY, Anne. **A história da matemática** - Desde a criação das pirâmides até a exploração do infinito. São Paulo: M. Books do Brasil Editora Ltda., 2012. 216 p.

ROY, A. H. et al. Impediments and solutions to sustainable, watershed-scale urban stormwater management: lessons from Australia and the United States. **Environmental Management**, v. 42, n. 2, p. 344-359, 2008. DOI: 10.1007/s00267-008-9119-1.

SAENZ, I. Z.; HIRIART, M. M.; LEÑERO, L. A. Sistema de indicadores para la recuperación de ríos urbanos. El caso del río Magdalena, Ciudad de México. **Acta Universitária**, v. 27, n. 6, p. 55-65, nov./dic. 2017. DOI: 10.15174/au.2017.1520.

SALES, R. J. 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**, n. 194, p. 104-118, jan./abr. 2014. DOI: 10.4322/dae.2014.007.

SAMMONDS, M.J.; VIETZ, G.J. Setting stream naturalisation goals to achieve ecosystem improvement in urbanising greenfield catchments. **Area**, v. 47, p. 386-395, 2015. DOI: 10.1111/area.12181.

SANTOS, S. A. et al. A fuzzy logic-based tool to assess beef cattle ranching sustainability in complex environmental systems. **Journal of Environmental Management**, v. 198, p. 95e-06, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.04.076>

SARAIVA, M. G. A. N. **O rio como paisagem**: gestão de corredores fluviais no quadro do ordenamento do território. Lisboa: Dinalivro, 1999.

SEDEÑO-DÍAZ, J. E.; LÓPEZ, E. L. Fuzzy Logic as a Tool for the Assessment of Water Quality for Reservoirs: A Regional Perspective (Lerma River Basin, Mexico), **Lake Sciences and Climate Change**, IntechOpen, aug. 2016. DOI: 10.5772/64265.

SEIDL, R.; M. STAUFFACHER. Evaluation of river restoration by local residents. **Water Resources Research**, v. 49, p. 7077-7087, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/2013WR013988>.

SER - Society for Ecological Restoration. International Science and Policy Working Group. The SER primer in ecological restoration. **Society for Ecological Restoration International**, Tucson, v. 2, p. 01-15, 2004.

SESI-PR, Serviço Social da Indústria. Departamento Regional do Estado do Paraná. Observatório Regional Base de Indicadores de Sustentabilidade – ORBIS. **Construção e Análise de Indicadores**. Curitiba, 2010. 108 p. Disponível em: <http://www.orbis.org.br/curso/2/cartilha-construcao-e-analise-de-indicadores>. Acesso em: 23 jul. 2018.

SHACKELFORD, N. et al. Primed for change: developing ecological restoration for the 21st century. **Restoration Ecology**, v. 21, n. 3, p. 297-304, 2013. DOI: 10.1111/rec.12012.

SHINY, J.; SHANNON, L. J. Using indicators for evaluating, comparing, and communicating the ecological status of exploited marine ecosystems. 1. The IndiSeas project, ICES. **Journal of Marine Science**, vol. 67, p. 686-691, 2010. DOI: doi:10.1093/icesjms/fsp273.

SILVA, A. M.; CORREIA, A. M. M.; CÂNDIDO, G. A. Ecological Footprint Method: Avaliação da Sustentabilidade no Município de João Pessoa, PB. In: CÂNDIDO, G. A. (Org.). **Desenvolvimento Sustentável e Sistemas de Indicadores de Sustentabilidade**: Formas de aplicações em contextos geográficos diversos e contingências específicas. Campina Grande: UFCG, 2010, p. 236-271.

SILVA, L. M. et al. Modelagem fuzzy aplicada na detecção da vulnerabilidade à erosão costeira. **Bol. Ciênc. Geod.**, sec. Artigos, Curitiba, v. 19, n. 4, p. 746-764, out./dez. 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1982-217020130004000014>.

SILVA, M. M. N.; LIMA, D. F.; SOUZA JUNIOR, A. M.; CARVALHO, C. C. A. Segregação socioespacial: os impactos das desigualdades sociais frente a formação e ocupação do espaço urbano. **Revista Monografias Ambientais - REMOA** v. 15, n.1, p.256-263, jan-abr. 2016. DOI:10.5902/22361308.

SILVA, P. T. S. et al. Aplicação do índice de qualidade da água em um trecho do riacho Cavouco no campus da UFPE. Rio de Janeiro. In: 21º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, **Anais...** ABES, 1 CD-ROM. 2001.

SILVA-SÁNCHEZ, S.; JACOBI, P. R. Implementation of riverside parks in the city of São Paulo – progress and constraints. **The International Journal of Justice and Sustainability**, v. 21, p. 65-84, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/13549839.2014.922060>. Acesso em: 15 ago. De 2018.

SINGH, P. K.; SAXENA, S. Towards developing a river health index. **Ecological Indicators**, v. 85, p. 999-1011, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.11.059>.

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.

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.

SOLANA-GUTIÉRREZ, J. et al. Using fuzzy cognitive maps for predicting river management responses: A case study of the Esla River basin, Spain. **Ecological Modelling**, v. 360, p. 260-269, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2017.07.010>.

SOUZA, J. L.; SILVA, I. R. Utilização do modelo pressão-estado-resposta na avaliação da qualidade das praias da Ilha de Itaparica, Bahia. **Caderno de Geociências**, Salvador, v.11, n.1-2, p. 103-113, nov. 2014.

SUGENO, M.; KANG, G.T. Fuzzy Modelling and Control of Multilayer Incinerator. **Fuzzy Sets and Systems**, v. 18, p. 329-346, 1986.

TÁNAGO, G. et al. Indicators of river system hydromorphological character and dynamics: understanding current conditions and guiding sustainable river management. **Aquatic Sciences**, v. 78, p. 35-55, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s00027-015-0429-0>.

TÂNGARI, et al. **Águas Urbanas: uma contribuição para a regeneração ambiental como campo disciplinar integrado**. Rio de Janeiro: Universidade federal do Rio de Janeiro, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, 2007.

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. DOI: 10.2113/gsegeosci.23.2.113.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia Ciência e Aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2015. 944 p.

_____. Indicador de Sustentabilidade Hídrica Urbana. **REGA**, v. 14, e. 7, 2017. DOI: 10.21168/rega.

TUNDISI, José Galizia. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 632p. URBEM – Urban River Basin Enhancement Methods. **New techniques for urban river rehabilitation: How to re-naturalise flow regimes Recommendations**. v. 8, mar. 2004. 108p. Disponível em: http://www.urbem.net/WP8/Doc8_1_A.pdf. Acesso em: 18 ago. 2017.

URBEM – Urban River Basin Enhancement Methods. New techniques for urban river rehabilitation: How to re-naturalise flow regimes Recommendations. **Work Package**, v. 8, mar. 2004.

URBEM – Urban River Basin Enhancement Methods. **New techniques for urban river rehabilitation: How to re-naturalise flow regimes Recommendations**. v. 8, mar. 2004.

VIETZ, G.J. et al. Ecologically relevant geomorphic attributes of streams are impaired by even low levels of watershed effective imperviousness. **Geomorphology**, v. 206, p. 67-78, 2014.

VILLANUEVA, A. O. N. et al. Gestão da drenagem urbana, da formulação à implementação. **Rega**, v. 8, n. 1, p. 05-18, 2011. DOI: 10.21168/regas.

VON SPERLING, M. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**. 4. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014. 470 p.

_____. **Estudos de modelagem da qualidade da água de rios**. Belo Horizonte: UFMG, v. 7, 2007. 452 p.

_____. **Princípios básicos do tratamento de esgotos**. 3. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2005. 211 p.

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.

WARD, J. V. et al. Understanding natural patterns and processes in river corridors as the basis for effective river restoration. **Regulated Rivers Research & Management**, v. 17(4-5), p. 311-323, 2001.

WHOL, E. et al. River Restoration. **Water Resources Research**, v. 41, p. 1-12, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1029/2005WR003985>.

WOLFSLEHNER, B.; VACIK, H. Evaluating sustainable forest management strategies with the analytic network process in a pressure-state-response framework. **J. Environ. Manag.**, v. 88, p. 1-10, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.01.027>.

WU, J.; WU T. Sustainability indicators and indices. In: MADU, C. N.; KUEI, C. (Ed.). **Handbook of Sustainable Management**. London: Imperial College Press, 2012, p. 65-86.

ZADEH, L. A. Position Paper: Toward extended fuzzy logic-A first step. **Fuzzy Sets Systems**, v. 160, n. 21, p. 3175-3181, nov. 2009.

ZHANG, K. et al. Urban River Health Analysis of the Jialu River in Zhengzhou City Using the Improved Fuzzy Matter-Element Extension Model. **Water**, v. 11, Issue 1190, 2019. DOI:10.3390/w11061190.

ZHAO, H.; LI, N. Performance Evaluation for Sustainability of Strong Smart Grid by Using Stochastic AHP and Fuzzy TOPSIS Methods. **Sustainability**, v. 8, p. 129, 2016. DOI: 10.3390/su8020129.

ZIMMERMANN, H. J. **Fuzzy set theory and its applications**. Springer Science & Business Media, 2011. 514 p.

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. DOI: 10.4322/dae.2018.027.

APÊNDICE A – FORMULÁRIO PARA PESQUISA COM ESPECIALISTAS EM RIACHOS URBANOS.

Figura 1 – Formulário de pesquisa com especialistas em riachos urbanos (continua...)

← Indicadores para Avaliação da Conservação Ambiental

Todas as perguntas foram salvas no Google Drive

PERGUNTAS RESPOSTAS 52

Indicadores para Avaliação da Conservação Ambiental de Riachos Urbanos.

Este formulário faz parte de uma pesquisa que tem como objetivo criar um índice para avaliar a conservação ambiental de riachos urbanos. Nesta primeira fase, pedimos que você classifique em uma escala de 1 a 5 (sendo 1 mínimo e 5 máximo), qual o grau de importância do parâmetro sugerido para avaliar a conservação de riachos urbanos. Consideramos riachos urbanos, como cursos d'água que estão inseridos em ambientes urbanizados. Ao final, existe um espaço aberto para sugestão de novos indicadores.

Endereço de e-mail *

Endereço de e-mail válido

Este formulário coleta endereços de e-mail. [Alterar configurações](#)

Qual sua formação?

- ☐ Agronomia
- ☐ Arquitetura
- ☐ Biologia
- ☐ Engenharia Civil
- ☐ Engenharia Sanitária / Ambiental
- ☐ Engenharia Florestal
- ☐ Geografia
- ☐ Outros

Qual sua área de atuação profissional?

- ☐ Ensino e pesquisa

Figura 1 – Formulário de pesquisa com especialistas em riachos urbanos (conclusão)

1 - Índice de Qualidade da Água - IQA.

☐ 1 - Pouquíssimo importante

☐ 2 - Pouco importante

☐ 3 - Importante

☐ 4 - Muito importante

☐ 5 - Muitoíssimo importante

Comentário - 1

Texto de resposta curta

2 - Coleta e tratamento de esgoto na bacia de drenagem.

3 - Coleta de resíduos sólidos na bacia de drenagem.

4 - Faixa de Área de Preservação Permanente - APP das margens do rio/riacho respeitada, conforme o Código Florestal de 2012.

5 - Faixa de Área de Preservação Permanente - APP das margens do rio/riacho respeitada, conforme a legislação municipal (15 metros).

6 - Cobertura vegetal (arbustiva e arbórea) na APP do rio/riacho.

7 - Tipo de revestimento do TALUDE do canal do rio/riacho (Ex: vegetação, solo exposto, impermeabilizado, etc.).

8 - Tipo de revestimento do FUNDO do canal do rio/riacho (Ex: vegetação, solo exposto, impermeabilizado, etc.).

9 - Tipo de revestimento do PAREDES do canal do rio/riacho (Ex: vegetação, solo exposto, impermeabilizado, etc.).

10 - Presença de estruturas ou dispositivos que promovam a aeração da água do rio/riacho.

11 - Presença de estruturas que promovam a contemplação do rio/riacho (Ex: diques, passarelas, janelas para o rio, etc.).

12 - Tipo de uso e ocupação do solo nas margens do rio/riacho (Ex: vias públicas, residências, indústrias, parques, etc.).

13 - Presença de infraestrutura de lazer nas margens do rio/riacho (Ex: pista para caminhadas, ciclovias, mesas, bancos, etc.).

14 - Sistema de drenagem de águas pluviais na bacia de drenagem.

15 - Presença de dispositivos de drenagem que contribuam para a infiltração de águas pluviais na bacia de drenagem.

Que outro(s) parâmetro(s) você sugere para avaliar a conservação ambiental de um rio/riacho urbano?

Texto de resposta longa

Fonte: O Autor (2018).

APÊNDICE B – RESPOSTAS DA PESQUISA COM ESPECIALISTAS

Tabela 1 – Respostas da Pesquisa com Especialistas (continua...)

Nº	FORMAÇÃO	ÁREA PROFISSIONAL?	PERGUNTAS DO QUESTIONÁRIO														
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Agronomia	Ensino e pesquisa	4	5	5	4	4	5	4	4	4	4	4	4	5	5	5
2	Outros	Ensino e pesquisa	5	4	5	3	4	4	5	5	5	5	5	4	5	4	4
3	Engenharia Sanitária / Ambiental	Ensino e pesquisa	5	5	5	4	4	5	5	5	5	3	3	4	3	5	5
4	Arquitetura	Ensino e pesquisa	4	5	4	4	4	5	4	4	4	4	5	4	5	4	5
5	Agronomia	Ensino e pesquisa	5	5	5	3	3	5	5	5	5	4	4	4	4	5	5
6	Engenharia Civil	Ensino e pesquisa	5	4	4	4	4	4	5	5	5	4	4	4	4	5	5
7	Biologia	Ensino e pesquisa	3	5	4	5	5	5	4	5	4	4	4	4	4	5	4
8	Agronomia	Ensino e pesquisa	5	5	4	2	2	5	5	4	5	5	5	4	5	4	5
9	Outros	Poder público	5	4	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	4
10	Geografia	Ensino e pesquisa	3	5	4	3	3	5	3	3	3	3	5	5	5	3	5
11	Engenharia Civil	Ensino e pesquisa	3	5	5	3	3	5	5	5	3	3	5	4	5	4	4
12	Engenharia Civil	Ensino e pesquisa	4	5	5	5	1	5	5	5	5	3	5	4	5	4	5
13	Biologia	Ensino e pesquisa	5	5	5	4	3	5	4	5	4	1	5	4	5	5	5
14	Engenharia Civil	Ensino e pesquisa	5	5	5	4	4	5	5	5	5	3	5	4	5	5	5
15	Geografia	Ensino e pesquisa	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3	4	2	5	5
16	Arquitetura	Ensino e pesquisa	5	4	4	4	4	5	4	4	4	4	5	5	5	5	5
17	Engenharia Sanitária / Ambiental	Ensino e pesquisa	5	4	4	5	5	5	5	5	5	3	5	5	5	5	5
18	Outros	Poder público	4	5	5	5	5	5	4	4	4	4	5	5	5	5	5
19	Biologia	Poder público	5	5	5	5	5	5	5	5	5	2	5	5	5	5	5
20	Biologia	Poder público	5	5	5	4	4	5	5	5	5	3	5	4	5	5	5
21	Arquitetura	Ensino e pesquisa	5	5	5	3	3	5	4	4	4	3	5	4	5	4	5
22	Biologia	Ensino e pesquisa	3	5	5	5	5	5	4	4	4	3	5	4	5	4	5
23	Arquitetura	Ensino e pesquisa	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
24	Biologia	Poder público	5	3	3	3	3	4	4	4	4	2	4	3	4	3	5
25	Outros	Iniciativa privada	5	5	5	4	4	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5
26	Outros	Ensino e pesquisa	5	5	4	4	4	4	5	5	5	5	5	3	4	4	5

Tabela 1 – Respostas da Pesquisa com Especialistas (conclusão)

Nº	FORMAÇÃO	ÁREA PROFISSIONAL?	PERGUNTAS DO QUESTIONÁRIO														
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
27	Engenharia Civil	Poder público	5	4	4	3	3	3	4	4	4	2	4	4	4	5	5
28	Outros	Poder público	5	5	5	5	3	5	5	5	5	3	3	5	4	4	4
29	Geografia	Ensino e pesquisa	3	5	5	4	5	3	5	5	4	4	5	1	3	5	4
30	Arquitetura	Poder público	5	5	5	4	5	5	5	4	5	5	3	4	5	5	4
31	Biologia	Poder público	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	4	5	5
32	Geografia	Ensino e pesquisa	4	4	3	5	3	2	5	2	5	3	2	5	4	4	4
33	Arquitetura	Ensino e pesquisa	5	5	4	4	5	5	5	5	5	3	2	4	3	4	4
34	Outros	Ensino e pesquisa	5	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	4	5
35	Arquitetura	Ensino e pesquisa	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
36	Biologia	Poder público	4	5	5	5	3	5	4	4	4	3	3	5	3	5	5
37	Outros	Ensino e pesquisa	5	5	5	5	4	5	5	4	3	3	3	4	3	4	4
38	Engenharia Civil	Poder público	5	3	3	5	5	5	4	5	4	1	3	4	3	3	4
39	Engenharia Civil	Poder público	5	5	4	5	5	5	3	5	5	1	5	5	5	4	5
40	Engenharia Sanitária / Ambiental	ONG	5	4	4	3	3	5	5	5	5	2	5	4	5	4	5
41	Engenharia Sanitária / Ambiental	ONG	5	4	4	4	4	5	4	4	4	3	5	4	5	4	5
42	Outros	ONG	5	4	4	3	3	5	4	4	4	3	5	5	5	4	5
43	Agronomia	Ensino e pesquisa	5	5	5	5	5	5	4	4	4	4	4	5	4	5	5
44	Outros	Ensino e pesquisa	5	5	5	5	5	5	4	3	4	5	4	5	3	4	4
45	Geografia	Ensino e pesquisa	4	5	5	4	4	4	4	5	5	3	3	3	3	4	5
46	Geografia	Ensino e pesquisa	5	5	5	3	5	5	5	4	4	4	4	4	4	3	5
47	Geografia	Poder público	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
48	Engenharia Sanitária / Ambiental	Poder público	5	5	4	4	3	3	2	2	2	2	1	4	2	3	2
49	Outros	Ensino e pesquisa	5	5	5	4	4	3	4	5	5	4	3	5	5	5	5
50	Biologia	ONG	4	4	5	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4
51	Outros	Ensino e pesquisa	5	4	4	4	4	5	5	5	5	3	4	4	3	4	5
52	Engenharia Sanitária / Ambiental	Poder público	5	4	4	5	4	5	5	5	5	3	4	5	4	4	5
DESVIO PADRÃO			0,68	0,55	0,60	0,80	0,93	0,69	0,66	0,74	0,69	1,10	0,98	0,73	0,88	0,65	0,57
MEDIANA			5	5	5	4	4	5	5	5	5	3	5	4	5	4	5

Fonte: elaborado pelo autor.

APÊNDICE C – REGRAS FUZZY ESTABELECIDAS PARA O ÍCARU

Quadro 1 – Regras fuzzy para o sub índice pressão (PRESi) (continua...).

Nº	Condição Lógica			"ENTÃO" Pressão será
	SE "EFLUENTE" for	SE "RESÍDUOS" for	SE "OCUPAÇÃO" for	
Valores Linguísticos	1	Muito alta	Muito alta	Muito alta
	2	Muito alta	Muito alta	Alta
	3	Muito alta	Muito alta	Média
	4	Muito alta	Muito alta	Baixa
	5	Muito alta	Muito alta	Muito baixa
	6	Muito alta	Alta	Muito alta
	7	Muito alta	Alta	Muito alta
	8	Muito alta	Alta	Média
	9	Muito alta	Alta	Baixa
	10	Muito alta	Alta	Muito baixa
	11	Muito alta	Média	Muito alta
	12	Muito alta	Média	Alta
	13	Muito alta	Média	Média
	14	Muito alta	Média	Baixa
	15	Muito alta	Média	Muito baixa
	16	Muito alta	Baixa	Muito alta
	17	Muito alta	Baixa	Alta
	18	Muito alta	Baixa	Média
	19	Muito alta	Baixa	Baixa
	20	Muito alta	Baixa	Muito baixa
	21	Muito alta	Muito baixa	Muito alta
	22	Muito alta	Muito baixa	Alta
	23	Muito alta	Muito baixa	Média
	24	Muito alta	Muito baixa	Baixa
	25	Muito alta	Muito baixa	Muito baixa
	26	Alta	Muito alta	Muito alta
	27	Alta	Muito alta	Alta
	28	Alta	Muito alta	Média
	29	Alta	Muito alta	Baixa
	30	Alta	Muito alta	Muito baixa
	31	Alta	Alta	Muito alta
	32	Alta	Alta	Alta
	33	Alta	Alta	Média
	34	Alta	Alta	Baixa
	35	Alta	Alta	Muito baixa
	36	Alta	Média	Muito alta
	37	Alta	Média	Alta
	38	Alta	Média	Média
	39	Alta	Média	Baixa
	40	Alta	Média	Muito baixa

Quadro 1 – Regras fuzzy para o sub índice pressão (PRESi) (continuação).

Condição Lógica				
Nº	SE "EFLUENTE" for	SE "RESÍDUOS" for	SE "OCUPAÇÃO" for	"ENTÃO" Pressão será
41	Alta	Baixa	Muito alta	Alta
42	Alta	Baixa	Alta	Alta
43	Alta	Baixa	Média	Média
44	Alta	Baixa	Baixa	Média
45	Alta	Baixa	Muito baixa	Média
46	Alta	Muito baixa	Muito alta	Alta
47	Alta	Muito baixa	Alta	Média
48	Alta	Muito baixa	Média	Média
49	Alta	Muito baixa	Baixa	Média
50	Alta	Muito baixa	Muito baixa	Baixa
51	Média	Muito alta	Muito alta	Muito alta
52	Média	Muito alta	Alta	Alta
53	Média	Muito alta	Média	Alta
54	Média	Muito alta	Baixa	Alta
55	Média	Muito alta	Muito baixa	Média
56	Média	Alta	Muito alta	Alta
57	Média	Alta	Alta	Alta
58	Média	Alta	Média	Alta
59	Média	Alta	Baixa	Média
60	Média	Alta	Muito baixa	Média
61	Média	Média	Muito alta	Alta
62	Média	Média	Alta	Alta
63	Média	Média	Média	Média
64	Média	Média	Baixa	Média
65	Média	Média	Muito baixa	Média
66	Média	Baixa	Muito alta	Alta
67	Média	Baixa	Alta	Média
68	Média	Baixa	Média	Média
69	Média	Baixa	Baixa	Média
70	Média	Baixa	Muito baixa	Baixa
71	Média	Muito baixa	Muito alta	Média
72	Média	Muito baixa	Alta	Média
73	Média	Muito baixa	Média	Média
74	Média	Muito baixa	Baixa	Baixa
75	Média	Muito baixa	Muito baixa	Baixa
76	Baixa	Muito alta	Muito alta	Alta
77	Baixa	Muito alta	Alta	Alta
78	Baixa	Muito alta	Média	Alta
79	Baixa	Muito alta	Baixa	Média
80	Baixa	Muito alta	Muito baixa	Média
81	Baixa	Alta	Muito alta	Alta
82	Baixa	Alta	Alta	Alta
83	Baixa	Alta	Média	Média

Quadro 1 – Regras fuzzy para o sub índice pressão (PRESi) (conclusão).

Nº	Condição Lógica			"ENTÃO" Pressão será
	SE "EFLUENTE" for	SE "RESÍDUOS" for	SE "OCUPAÇÃO" for	
84	Baixa	Alta	Baixa	Média
85	Baixa	Alta	Muito baixa	Média
86	Baixa	Média	Muito alta	Alta
87	Baixa	Média	Alta	Média
88	Baixa	Média	Média	Média
89	Baixa	Média	Baixa	Média
90	Baixa	Média	Muito baixa	Baixa
91	Baixa	Baixa	Muito alta	Média
92	Baixa	Baixa	Alta	Média
93	Baixa	Baixa	Média	Média
94	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa
95	Baixa	Baixa	Muito baixa	Baixa
96	Baixa	Muito baixa	Muito alta	Média
97	Baixa	Muito baixa	Alta	Média
98	Baixa	Muito baixa	Média	Baixa
99	Baixa	Muito baixa	Baixa	Baixa
100	Baixa	Muito baixa	Muito baixa	Muito baixa
101	Muito baixa	Muito alta	Muito alta	Alta
102	Muito baixa	Muito alta	Alta	Alta
103	Muito baixa	Muito alta	Média	Média
104	Muito baixa	Muito alta	Baixa	Média
105	Muito baixa	Muito alta	Muito baixa	Média
106	Muito baixa	Alta	Muito alta	Alta
107	Muito baixa	Alta	Alta	Média
108	Muito baixa	Alta	Média	Média
109	Muito baixa	Alta	Baixa	Média
110	Muito baixa	Alta	Muito baixa	Baixa
111	Muito baixa	Média	Muito alta	Média
112	Muito baixa	Média	Alta	Média
113	Muito baixa	Média	Média	Média
114	Muito baixa	Média	Baixa	Baixa
115	Muito baixa	Média	Muito baixa	Baixa
116	Muito baixa	Baixa	Muito alta	Média
117	Muito baixa	Baixa	Alta	Média
118	Muito baixa	Baixa	Média	Baixa
119	Muito baixa	Baixa	Baixa	Baixa
120	Muito baixa	Baixa	Muito baixa	Muito baixa
121	Muito baixa	Muito baixa	Muito alta	Média
122	Muito baixa	Muito baixa	Alta	Baixa
123	Muito baixa	Muito baixa	Média	Baixa
124	Muito baixa	Muito baixa	Baixa	Muito baixa
125	Muito baixa	Muito baixa	Muito baixa	Muito baixa

Fonte: elaborado pelo autor.

Quadro 2 – Regras fuzzy para o sub índice estado (ESTi) (continua...).

	Condição Lógica				ENTÃO “ESTADO” será
	Nº	SE "IQA" for	SE "LEITO" for	SE "VEGETAÇÃO" for	
Valores Linguísticos	1	Ótimo	Ótimo	Ótimo	Ótimo
	2	Ótimo	Ótimo	Bom	Ótimo
	3	Ótimo	Ótimo	Regular	Bom
	4	Ótimo	Ótimo	Ruim	Bom
	5	Ótimo	Ótimo	Péssimo	Regular
	6	Ótimo	Bom	Ótimo	Ótimo
	7	Ótimo	Bom	Bom	Bom
	8	Ótimo	Bom	Regular	Bom
	9	Ótimo	Bom	Ruim	Regular
	10	Ótimo	Bom	Péssimo	Regular
	11	Ótimo	Regular	Ótimo	Bom
	12	Ótimo	Regular	Bom	Bom
	13	Ótimo	Regular	Regular	Regular
	14	Ótimo	Regular	Ruim	Regular
	15	Ótimo	Regular	Péssimo	Regular
	16	Ótimo	Ruim	Ótimo	Bom
	17	Ótimo	Ruim	Bom	Regular
	18	Ótimo	Ruim	Regular	Regular
	19	Ótimo	Ruim	Ruim	Regular
	20	Ótimo	Ruim	Péssimo	Ruim
	21	Ótimo	Péssimo	Ótimo	Regular
	22	Ótimo	Péssimo	Bom	Regular
	23	Ótimo	Péssimo	Regular	Regular
	24	Ótimo	Péssimo	Ruim	Ruim
	25	Ótimo	Péssimo	Péssimo	Ruim
	26	Bom	Ótimo	Ótimo	Ótimo
	27	Bom	Ótimo	Bom	Bom
	28	Bom	Ótimo	Regular	Bom
	29	Bom	Ótimo	Ruim	Regular
	30	Bom	Ótimo	Péssimo	Regular
	31	Bom	Bom	Ótimo	Bom
	32	Bom	Bom	Bom	Bom
	33	Bom	Bom	Regular	Regular
	34	Bom	Bom	Ruim	Regular
	35	Bom	Bom	Péssimo	Regular
	36	Bom	Regular	Ótimo	Bom
	37	Bom	Regular	Bom	Regular
	38	Bom	Regular	Regular	Regular
	39	Bom	Regular	Ruim	Regular
	40	Bom	Regular	Péssimo	Ruim
	41	Bom	Ruim	Ótimo	Regular
	42	Bom	Ruim	Bom	Regular
	43	Bom	Ruim	Regular	Regular
	44	Bom	Ruim	Ruim	Ruim

Quadro 2 – Regras fuzzy para o sub índice estado (ESTi) (continuação).

Nº	Condição Lógica			ENTÃO “ESTADO” será
	SE "IQA" for	SE "LEITO" for	SE "VEGETAÇÃO" for	
45	Bom	Ruim	Péssimo	Ruim
46	Bom	Péssimo	Ótimo	Regular
47	Bom	Péssimo	Bom	Regular
48	Bom	Péssimo	Regular	Ruim
49	Bom	Péssimo	Ruim	Ruim
50	Bom	Péssimo	Péssimo	Péssimo
51	Regular	Ótimo	Ótimo	Bom
52	Regular	Ótimo	Bom	Bom
53	Regular	Ótimo	Regular	Regular
54	Regular	Ótimo	Ruim	Regular
55	Regular	Ótimo	Péssimo	Regular
56	Regular	Bom	Ótimo	Bom
57	Regular	Bom	Bom	Regular
58	Regular	Bom	Regular	Regular
59	Regular	Bom	Ruim	Regular
60	Regular	Bom	Péssimo	Ruim
61	Regular	Regular	Ótimo	Regular
62	Regular	Regular	Bom	Regular
63	Regular	Regular	Regular	Regular
64	Regular	Regular	Ruim	Ruim
65	Regular	Regular	Péssimo	Ruim
66	Regular	Ruim	Ótimo	Regular
67	Regular	Ruim	Bom	Regular
68	Regular	Ruim	Regular	Ruim
69	Regular	Ruim	Ruim	Ruim
70	Regular	Ruim	Péssimo	Péssimo
71	Regular	Péssimo	Ótimo	Regular
72	Regular	Péssimo	Bom	Ruim
73	Regular	Péssimo	Regular	Ruim
74	Regular	Péssimo	Ruim	Péssimo
75	Regular	Péssimo	Péssimo	Péssimo
76	Ruim	Ótimo	Ótimo	Bom
77	Ruim	Ótimo	Bom	Regular
78	Ruim	Ótimo	Regular	Regular
79	Ruim	Ótimo	Ruim	Regular
80	Ruim	Ótimo	Péssimo	Ruim
81	Ruim	Bom	Ótimo	Regular
82	Ruim	Bom	Bom	Regular
83	Ruim	Bom	Regular	Regular
84	Ruim	Bom	Ruim	Ruim
85	Ruim	Bom	Péssimo	Ruim
86	Ruim	Regular	Ótimo	Regular
87	Ruim	Regular	Bom	Regular
88	Ruim	Regular	Regular	Ruim

Quadro 2 – Regras fuzzy para o sub índice estado (ESTi) (conclusão).

Nº	Condição Lógica			ENTÃO “ESTADO” será
	SE "IQA" for	SE "LEITO" for	SE "VEGETAÇÃO" for	
89	Ruim	Regular	Ruim	Ruim
90	Ruim	Regular	Péssimo	Péssimo
91	Ruim	Ruim	Ótimo	Regular
92	Ruim	Ruim	Bom	Ruim
93	Ruim	Ruim	Regular	Ruim
94	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim
95	Ruim	Ruim	Péssimo	Péssimo
96	Ruim	Péssimo	Ótimo	Ruim
97	Ruim	Péssimo	Bom	Ruim
98	Ruim	Péssimo	Regular	Péssimo
99	Ruim	Péssimo	Ruim	Péssimo
100	Ruim	Péssimo	Péssimo	Péssimo
101	Péssimo	Ótimo	Ótimo	Regular
102	Péssimo	Ótimo	Bom	Regular
103	Péssimo	Ótimo	Regular	Regular
104	Péssimo	Ótimo	Ruim	Ruim
105	Péssimo	Ótimo	Péssimo	Ruim
106	Péssimo	Bom	Ótimo	Regular
107	Péssimo	Bom	Bom	Regular
108	Péssimo	Bom	Regular	Regular
109	Péssimo	Bom	Ruim	Ruim
110	Péssimo	Bom	Péssimo	Péssimo
111	Péssimo	Regular	Ótimo	Regular
112	Péssimo	Regular	Bom	Ruim
113	Péssimo	Regular	Regular	Ruim
114	Péssimo	Regular	Ruim	Péssimo
115	Péssimo	Regular	Péssimo	Péssimo
116	Péssimo	Ruim	Ótimo	Ruim
117	Péssimo	Ruim	Bom	Ruim
118	Péssimo	Ruim	Regular	Péssimo
119	Péssimo	Ruim	Ruim	Péssimo
120	Péssimo	Ruim	Péssimo	Péssimo
121	Péssimo	Péssimo	Ótimo	Ruim
122	Péssimo	Péssimo	Bom	Péssimo
123	Péssimo	Péssimo	Regular	Péssimo
124	Péssimo	Péssimo	Ruim	Péssimo
125	Péssimo	Péssimo	Péssimo	Péssimo

Fonte: elaborado pelo autor.

Quadro 3 – Regras fuzzy para o sub índice resposta (RESPi)

	Nº	Condição Lógica			ENTÃO “RESPOSTA” será
		SE "PARQUE" for	SE "DRENAGEM" for	SE "PARTICIPAÇÃO" for	
Valores Linguísticos	1	Adequado	Adequado	Adequado	Adequado
	2	Adequado	Adequado	Aceitável	Adequado
	3	Adequado	Adequado	Inadequado	Aceitável
	4	Adequado	Aceitável	Adequado	Adequado
	5	Adequado	Aceitável	Aceitável	Aceitável
	6	Adequado	Aceitável	Inadequado	Aceitável
	7	Adequado	Inadequado	Adequado	Aceitável
	8	Adequado	Inadequado	Aceitável	Aceitável
	9	Adequado	Inadequado	Inadequado	Aceitável
	10	Aceitável	Adequado	Adequado	Adequado
	11	Aceitável	Adequado	Aceitável	Aceitável
	12	Aceitável	Adequado	Inadequado	Aceitável
	13	Aceitável	Aceitável	Adequado	Aceitável
	14	Aceitável	Aceitável	Aceitável	Aceitável
	15	Aceitável	Aceitável	Inadequado	Aceitável
	16	Aceitável	Inadequado	Adequado	Aceitável
	17	Aceitável	Inadequado	Aceitável	Aceitável
	18	Aceitável	Inadequado	Inadequado	Inadequado
	19	Inadequado	Adequado	Adequado	Aceitável
	20	Inadequado	Adequado	Aceitável	Aceitável
	21	Inadequado	Adequado	Inadequado	Aceitável
	22	Inadequado	Aceitável	Adequado	Aceitável
	23	Inadequado	Aceitável	Aceitável	Aceitável
	24	Inadequado	Aceitável	Inadequado	Inadequado
	25	Inadequado	Inadequado	Adequado	Aceitável
	26	Inadequado	Inadequado	Aceitável	Inadequado
	27	Inadequado	Inadequado	Inadequado	Inadequado

Fonte: elaborado pelo autor.

Quadro 4 – Regras fuzzy para o Índice de Conservação de Riachos Urbanos (ÍCARU) (continua...).

	Nº	Condição Lógica			ENTÃO “ÍCARU” será
		SE "PRESSÃO" for	SE "ESTADO" for	SE "RESPOSTA" for	
Valores Linguísticos	1	Muito alta	Ótimo	Adequado	Regular
	2	Muito alta	Ótimo	Aceitável	Regular
	3	Muito alta	Ótimo	Inadequado	Ruim
	4	Muito alta	Bom	Adequado	Regular
	5	Muito alta	Bom	Aceitável	Ruim
	6	Muito alta	Bom	Inadequado	Ruim
	7	Muito alta	Regular	Adequado	Ruim
	8	Muito alta	Regular	Aceitável	Ruim
	9	Muito alta	Regular	Inadequado	Péssimo
	10	Muito alta	Ruim	Adequado	Ruim
	11	Muito alta	Ruim	Aceitável	Péssimo
	12	Muito alta	Ruim	Inadequado	Péssimo
	13	Muito alta	Péssimo	Adequado	Péssimo
	14	Muito alta	Péssimo	Aceitável	Péssimo
	15	Muito alta	Péssimo	Inadequado	Péssimo
	16	Alta	Ótimo	Adequado	Bom
	17	Alta	Ótimo	Aceitável	Regular
	18	Alta	Ótimo	Inadequado	Regular
	19	Alta	Bom	Adequado	Regular
	20	Alta	Bom	Aceitável	Regular
	21	Alta	Bom	Inadequado	Ruim
	22	Alta	Regular	Adequado	Regular
	23	Alta	Regular	Aceitável	Ruim
	24	Alta	Regular	Inadequado	Ruim
	25	Alta	Ruim	Adequado	Regular
	26	Alta	Ruim	Aceitável	Ruim
	27	Alta	Ruim	Inadequado	Péssimo
	28	Alta	Péssimo	Adequado	Ruim
	29	Alta	Péssimo	Aceitável	Péssimo
	30	Alta	Péssimo	Inadequado	Péssimo
	31	Média	Ótimo	Adequado	Bom
	32	Média	Ótimo	Aceitável	Regular
	33	Média	Ótimo	Inadequado	Regular
	34	Média	Bom	Adequado	Regular
	35	Média	Bom	Aceitável	Regular
	36	Média	Bom	Inadequado	Regular
	37	Média	Regular	Adequado	Regular
	38	Média	Regular	Aceitável	Regular
	39	Média	Regular	Inadequado	Ruim
	40	Média	Ruim	Adequado	Regular
	41	Média	Ruim	Aceitável	Ruim
	42	Média	Ruim	Inadequado	Ruim
	43	Média	Péssimo	Adequado	Ruim

Quadro 4 – Regras fuzzy para o Índice de Conservação de Riachos Urbanos (ÍCARU) (conclusão).

Nº	Condição Lógica			ENTÃO “ÍCARU” será
	SE "PRESSÃO" for	SE "ESTADO" for	SE "RESPOSTA" for	
44	Média	Péssimo	Aceitável	Ruim
45	Média	Péssimo	Inadequado	Péssimo
46	Baixa	Ótimo	Adequado	Ótimo
47	Baixa	Ótimo	Aceitável	Bom
48	Baixa	Ótimo	Inadequado	Bom
49	Baixa	Bom	Adequado	Bom
50	Baixa	Bom	Aceitável	Bom
51	Baixa	Bom	Inadequado	Regular
52	Baixa	Regular	Adequado	Bom
53	Baixa	Regular	Aceitável	Regular
54	Baixa	Regular	Inadequado	Regular
55	Baixa	Ruim	Adequado	Regular
56	Baixa	Ruim	Aceitável	Regular
57	Baixa	Ruim	Inadequado	Ruim
58	Baixa	Péssimo	Adequado	Regular
59	Baixa	Péssimo	Aceitável	Ruim
60	Baixa	Péssimo	Inadequado	Ruim
61	Muito baixa	Ótimo	Adequado	Ótimo
62	Muito baixa	Ótimo	Aceitável	Bom
63	Muito baixa	Ótimo	Inadequado	Bom
64	Muito baixa	Bom	Adequado	Ótimo
65	Muito baixa	Bom	Aceitável	Bom
66	Muito baixa	Bom	Inadequado	Regular
67	Muito baixa	Regular	Adequado	Bom
68	Muito baixa	Regular	Aceitável	Bom
69	Muito baixa	Regular	Inadequado	Regular
70	Muito baixa	Ruim	Adequado	Bom
71	Muito baixa	Ruim	Aceitável	Regular
72	Muito baixa	Ruim	Inadequado	Regular
73	Muito baixa	Péssimo	Adequado	Regular
74	Muito baixa	Péssimo	Aceitável	Regular
75	Muito baixa	Péssimo	Inadequado	Ruim

Fonte: elaborado pelo autor.

APÊNDICE D – INTERFACE DO SISTEMA BASEADO EM REGRAS DIFUSAS (SDRD)

Figura 1 – Tela de abertura do SDRD ÍCARU.



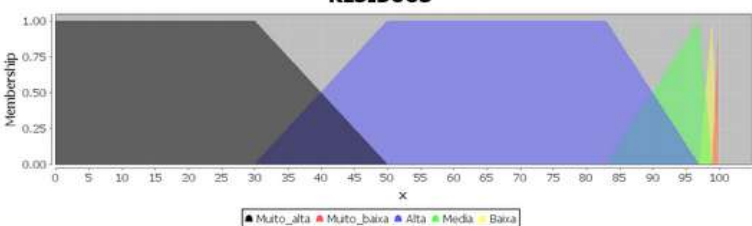
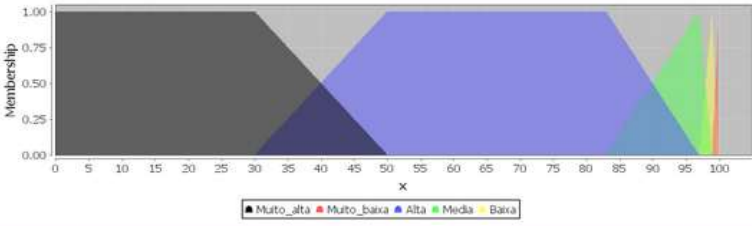
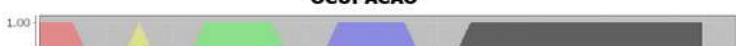
Fonte: O Autor (2019).

Figura 2 – Tela de entrada de dados Pressão.



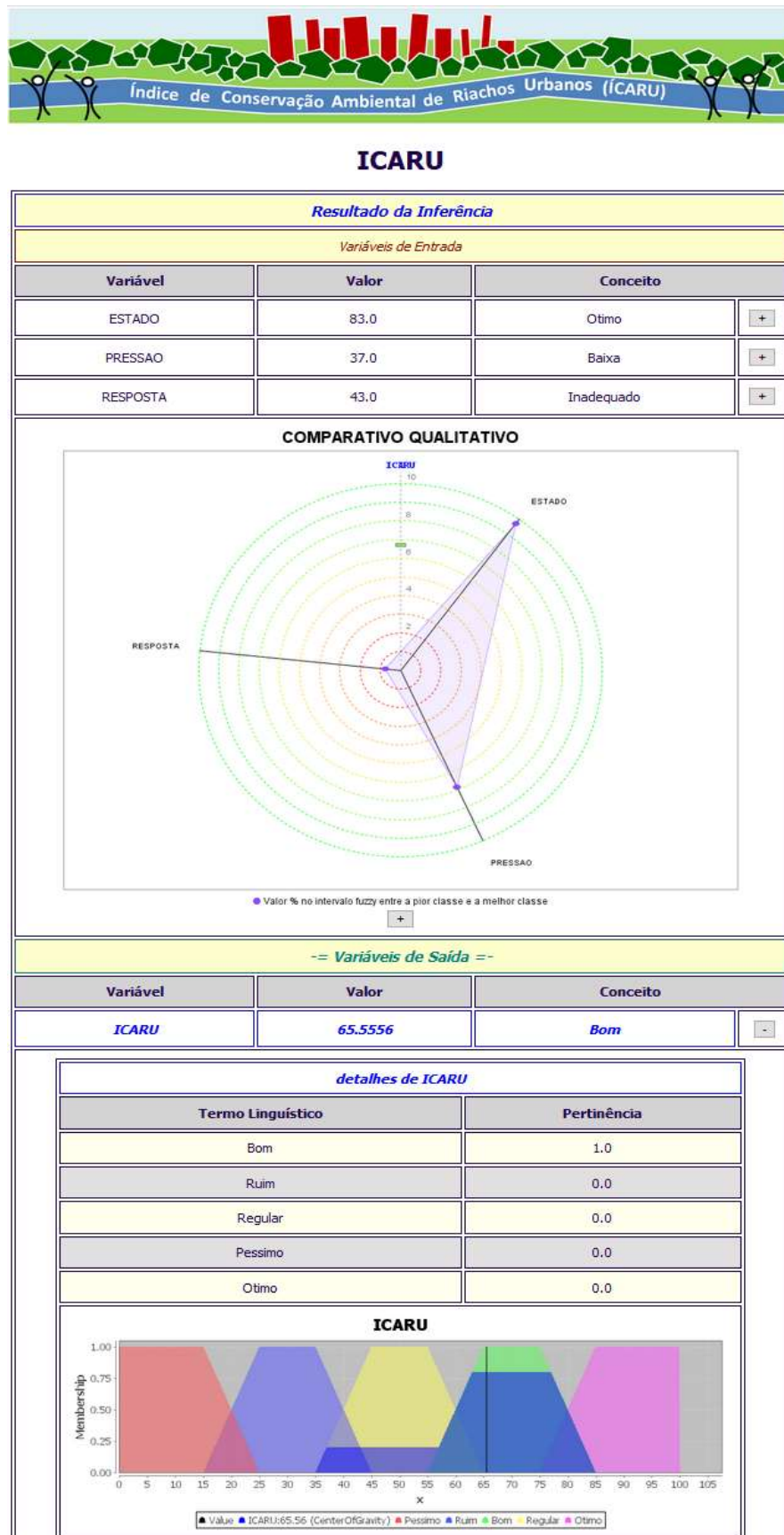
Pressão

Diz respeito às atividades e processos urbanos que produzem mudanças ambientais nos riachos urbanos. Entende-se aqui por "pressões" aquelas subjacentes ou indiretas (ou seja, a atividade propriamente dita e as tendências importantes do ponto de vista ambiental), assim como as pressões imediatas ou diretas (ou seja, a utilização de recursos e o lançamento de poluentes e de resíduos).

Variáveis de Entrada
RESIDUOS: Percentual de coleta e tratamento de resíduos sólidos (0-100)
Indica a poluição causada por resíduos sólidos no riacho. Os dados deverão ser obtidos por meio do Sistema Nacional sobre Saneamento (SNIS) ou outra fonte oficial. Considerar a área de drenagem do trecho analisado. Muito baixa: Taxa de coleta e tratamento igual a 100% (universalização) Baixa: Taxa de coleta e tratamento entre 98-99% Média: Taxa de coleta e tratamento entre 97-90% Alta: Taxa de coleta e tratamento entre 40-89% Muito alta: Taxa de coleta e tratamento abaixo de 40%
Valor: (Mínimo: 0.0 Máximo: 100.0)

EFLUENTE: Percentual de coleta e tratamento de efluente sanitário (0-100)
Indica a poluição causada pelo lançamento de efluente sanitário no riacho. Os dados deverão ser obtidos por meio do Sistema Nacional sobre Saneamento (SNIS) ou outra fonte oficial. Considerar a área de drenagem do trecho analisado. Muito baixa: Taxa de coleta e tratamento igual a 100% (universalização); Baixa: Taxa de coleta e tratamento entre 98-99% Média: Taxa de coleta e tratamento entre 97-90% Alta: Taxa de coleta e tratamento entre 40-89% Muito alta: Taxa de coleta e tratamento abaixo de 40%
Valor: (Mínimo: 0.0 Máximo: 100.0)

OCUPACAO: Percentual de ocupações nas margens (0-100)
Indica o impacto à conectividade lateral do ecossistema. Deve ser medida a área de ocupações edificadas e de infraestrutura viária nas margens e sobre o riacho na área total da APP. Considerar APP igual a 30m em nascentes e áreas preservadas (Lei nº 12.651/2012) e 15m para áreas consolidadas (Lei nº 6.766/1979). Muito baixa: Taxa de ocupação menor que 10% Baixa: Taxa de ocupação entre 11-20% Média: Taxa de ocupação entre 21-40% Alta: Taxa de ocupação entre 41-60% Muito alta: Taxa de ocupação acima de 60%
Valor: (Mínimo: 0.0 Máximo: 100.0)


Fonte: O Autor (2019).

Figura 3 – Tela de saída dos resultados ÍCARU.



Fonte: O Autor (2019).

APÊNDICE E – DADOS DE QUALIDADE DA ÁGUA DOS RIACHOS DO CAVOUÇO E PARNAMIRIM, RECIFE-PE.

Pontos de coleta no riacho do Cavouço:

PC1 – Laguinho da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).

PC2 – UFPE , na ponte próxima a Fundação Oswaldo Cruz.

PC3 – Ponte na Av. Caxangá.

Tabela 1 – Qualidade da água do riacho do Cavouço (continua...).

PARÂMETRO	UNIDADE	DATA DE COLETA											
		06/07/2016			22/08/2016			03/01/2017			07/03/2017		
		PC1	PC2	PC3	PC1	PC2	PC3	PC1	PC2	PC3	PC1	PC2	PC3
Temperatura de Amostragem	°C	28.4	29.3	29	29	29	29.3	-	30	31.1	-	30	29
Ph	-	7.0	7.2	7.0	6.7	7.3	7.1	-	7	7	-	7.4	7.2
Turbidez	UT	40	15	15	15	15	30	-	10	20	-	7.5	15
Cor Aparente	UH	>500	150	100	150	200	100	-	80	150	-	50	100
Condutividade Elétrica	µs/cm	115	663	744	576	608	765	-	640	833	-	361	743
Amônia	mg/L	ND	11.9	11.7	10.2	9.74	14.9	-	11	17	-	4.05	11.1
Salinidade	-	0.1	0.3	0.4	0.3	0.3	0.4	-	0.3	0.4	-	0.2	0.4
Fósforo Total	mg/L	1.67	1.76	2.95	0.88	3.57	3.27	-	3.36	4.89	-	0.17	0.54
Oxigênio Dissolvido	mg/L	13.8	3.9	<0.5	7.8	2.4	<0.5	-	4.2	<0.5	-	3.5	1.2
Demanda Bioquímica de Oxigênio/5 dias a 20°C	mg/L	10.4	20.4	34.0	7.6	31.2	76.4	-	8.9	26.6	-	4.8	31.4
Coliformes Totais	MNP/100mL	930	>160000	>160000	92000	>160000	>160000	-	7900	>160000	-	>160000	1500

Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 1 - Qualidade da água do riacho do Cavouco (conclusão).

PARÂMETRO	UNIDADE	DATA DE COLETA											
		07/06/2017			22/08/2017			26/10/2017			20/12/2017		
		PC1	PC2	PC3	PC1	PC2	PC3	PC1	PC2	PC3	PC1	PC2	PC3
Temperatura de Amostragem	°C	28	28	29	28	28	29	-	29	29	-	30	30
Ph(potenciométrico)	-	6,7	7	7,2	6,8	6,9	7	-	7,3	7,2	-	7,5	7
Turbidez	UT	5	15	15	6,5	15	20	-	805	15	-	15	20
Cor Aparente	UH	150	100	100	200	70	100	-	70	100	-	200	200
Condutividade Elétrica	µs/cm	48,1	695	1016	68,6	625	696	-	644	748	-	749	727
Amônia	mg/L	0,52	7,17	8,92	0,26	12,3	15,9	-	17,9	13,6	-	29,9	19
Salinidade	-	0,1	0,3	0,5	0,1	0,3	0,3	-	0,3	0,4	-	0,4	0,4
Fósforo Total	mg/L	0,46	2,19	1,58	0,36	1,91	2,16	-	1,44	1,66	-	3,47	3,04
Oxigênio Dissolvido	mg/L	6,8	1,7	1,5	2,9	5,1	1,7	-	8,4	0,7	-	2,6	<0.5
Demanda Bioquímica de Oxigênio/5 dias a 20°C	mg/L	6,4	18,4	18	3,3	9,9	24,5	-	11	33,6	-	21,1	47,3
Coliformes Totais	MNP/100mL	13000	>160000	1500	2300	>160000	160000	-	>160000	>160000	-	200	28000

Fonte: elaborado pelo autor.

Pontos de coleta no riacho Parnamirim:

PP1 – Rua Samuel Lins.

PP2 – Av. Dezesete de agosto.

PP3 – Rua Dr. João Santos Filho.

Tabela 2 – Qualidade da água do riacho do Parnamirim (continua...).

PARÂMETRO	UNIDADE	DATA DE COLETA											
		17/05/2016			23/08/2016			03/01/2017			07/03/2017		
		P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
Temperatura de Amostragem	°C	21	20	21	-	-	-	30.4	30.2	30.4	30	31	29
Ph(potenciométrico)	-	7.1	7.2	7.1	7.1	7.1	7.1	7	7	7.2	7.4	7.2	7.3
Turbidez	UT	30	20	40	50	30	30	30	35	25	35	30	25
Cor Aparente	UH	150	100	150	200	150	200	300	250	200	250	200	200
Condutividade Elétrica	µs/cm	632	600	642	825	895	794	872	845	1212	817	895	1110
Amônia	mg/L	17.7	22.8	28.9	22.4	21.1	26.0	31.2	32.3	24	14.7	13.8	13.2
Salinidade	-	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.6	0.4	0.4	0.5
Fósforo Total	mg/L	2.34	1.32	2.38	6.71	6.32	6.35	7.17	6.37	6.36	1.14	1.13	1.06
Oxigênio Dissolvido	mg/L	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
Demanda Bioquímica de Oxigênio/5 dias a 20°C	mg/L	72.8	52.7	97.3	169	169	96.5	134	90	83.1	129	86.8	88.1
Coliformes Totais	MNP/ 100mL	> 16x10 ⁴	> 16x10 ⁴	> 16x10 ⁴	>1 6x10 ⁴	> 16x10 ⁴	> 16x10 ⁴	> 16x10 ⁴	> 16x10 ⁴	> 16x10 ⁴	5800	<180	35000

Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 2 – Qualidade da água do riacho Parnamirim (conclusão).

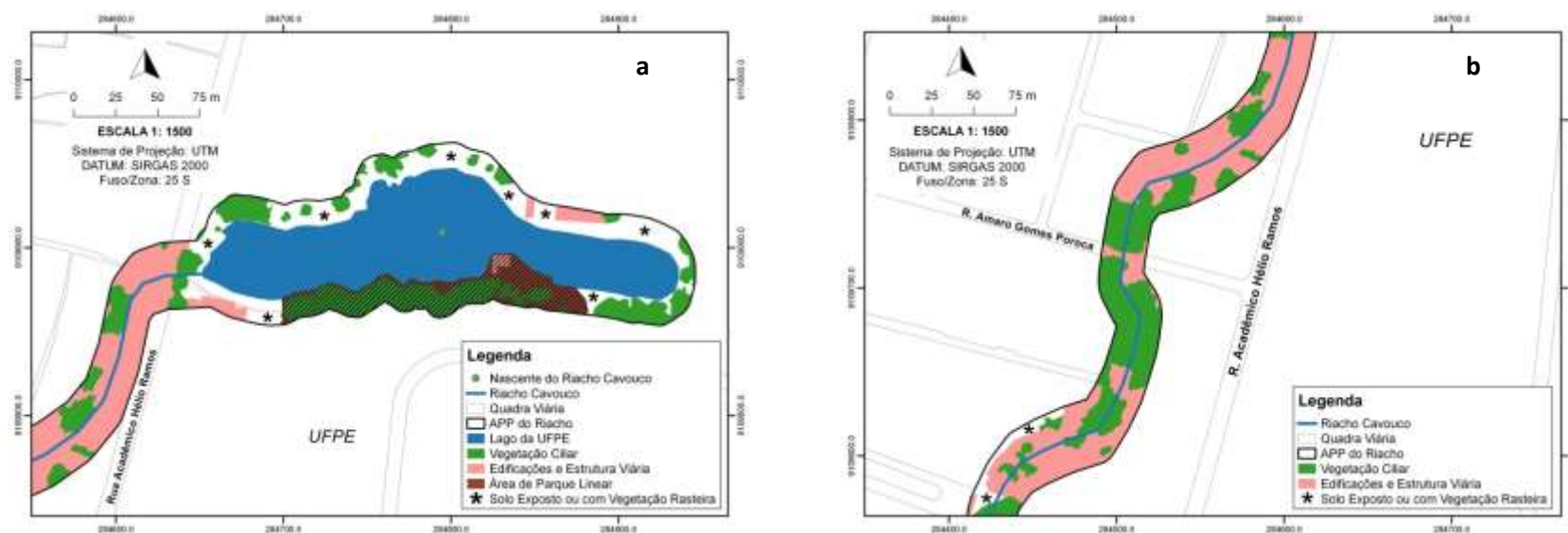
PARÂMETRO	UNIDADE	DATA DE COLETA											
		07/06/2017			22/08/2017			26/10/2017			20/12/2017		
		P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
Temperatura de Amostragem	°C	29	29	29	29	29	29	29	28	28	30	30	30
Ph(potenciométrico)	-	6,7	7,1	7,1	7,2	7	6,9	6,9	7,2	7,1	7,5	7	7,2
Turbidez	UT	35	25	25	40	40	30	50	55	50	50	45	35
Cor Aparente	UH	200	200	200	250	150	150	50	200	200	60	100	50
Condutividade Elétrica	µs/cm	550	688	855	872	878	864	855	859	913	956	933	1007
Amônia	mg/L	7,75	10,4	11,9	30	34,3	32,4	14	19,7	30,2	73	32,9	34,6
Salinidade	-	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5
Fósforo Total	mg/L	3,42	3,27	4,15	4,82	4,27	2,91	1,62	2,02	2,2	7,52	6,47	5,08
Oxigênio Dissolvido	mg/L	1,1	<0.5	<0.5	0,5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
Demanda Bioquímica de Oxigênio/5 dias a 20°C	mg/L	63,9	52,5	63	121	99,1	80	146	124	110	144	106	112
Coliformes Totais	MNP/100mL	> 16x10 ⁴	> 16x10 ⁴	> 16x10 ⁴	> 16x10 ⁴	> 16x10 ⁴	> 16x10 ⁴	> 16x10 ⁴	4800	> 16x10 ⁴	1400	400	2100

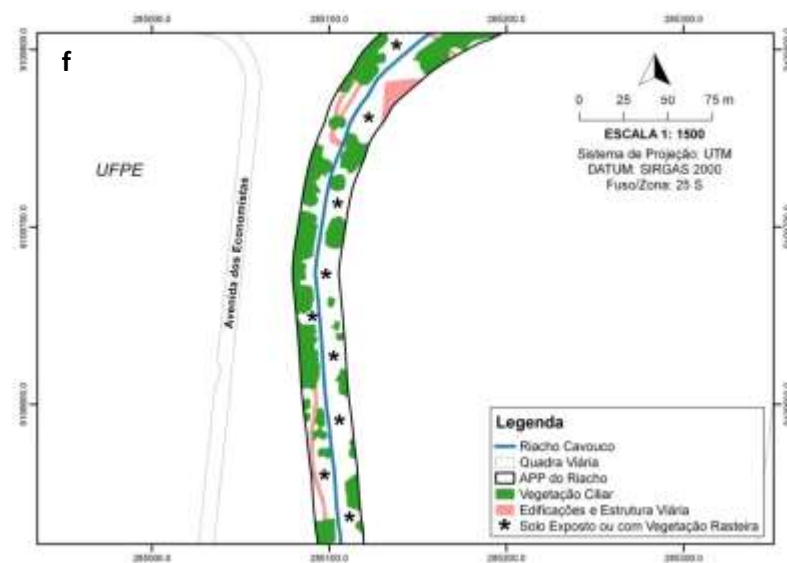
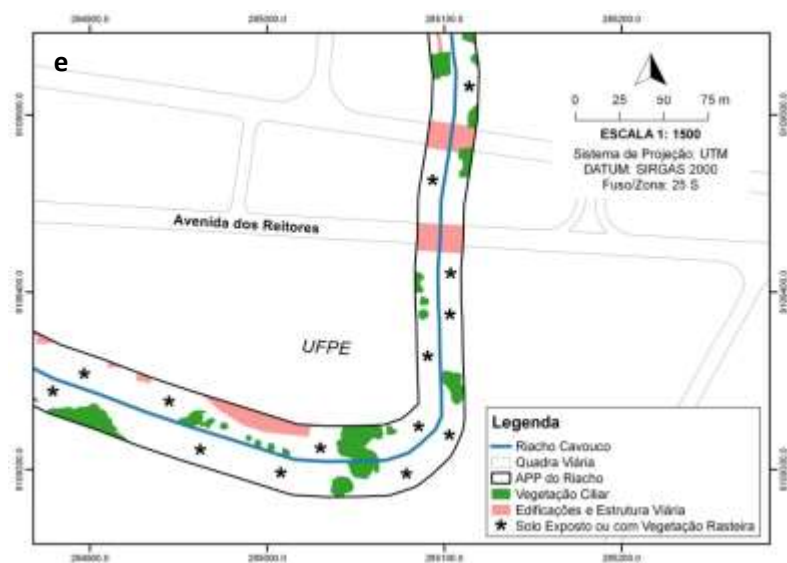
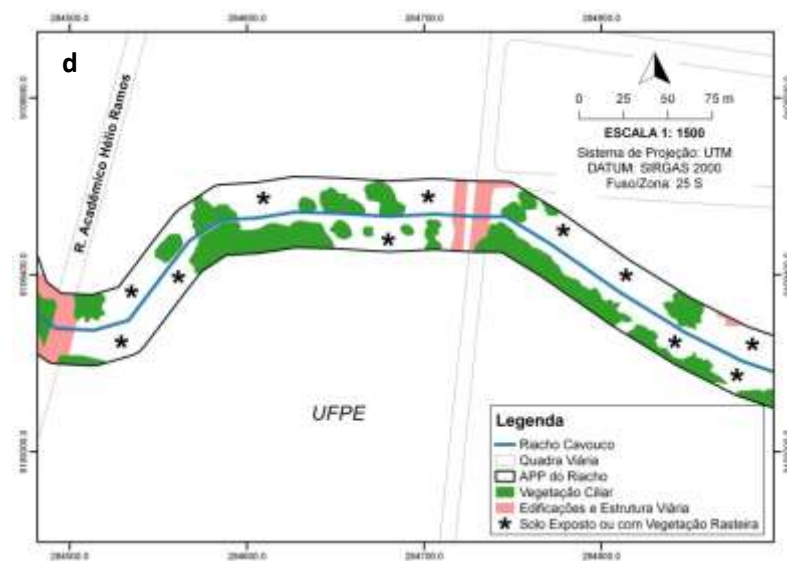
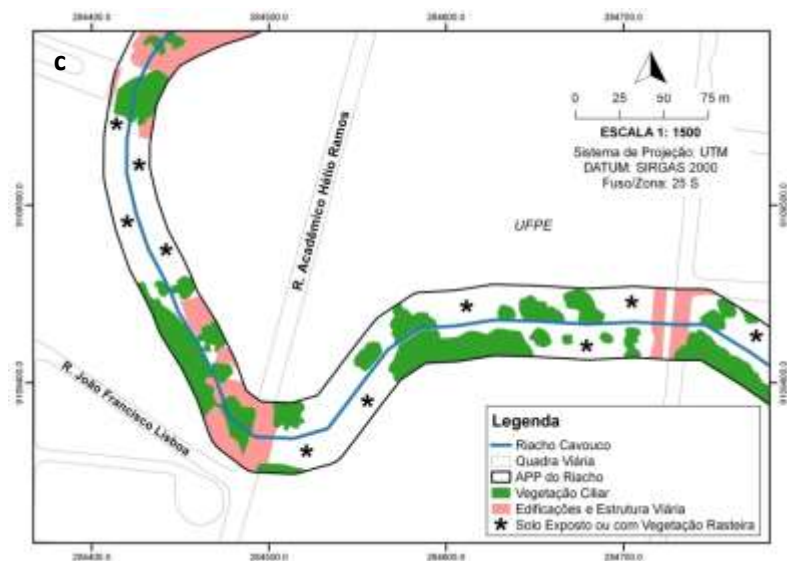
Fonte: elaborado pelo autor.

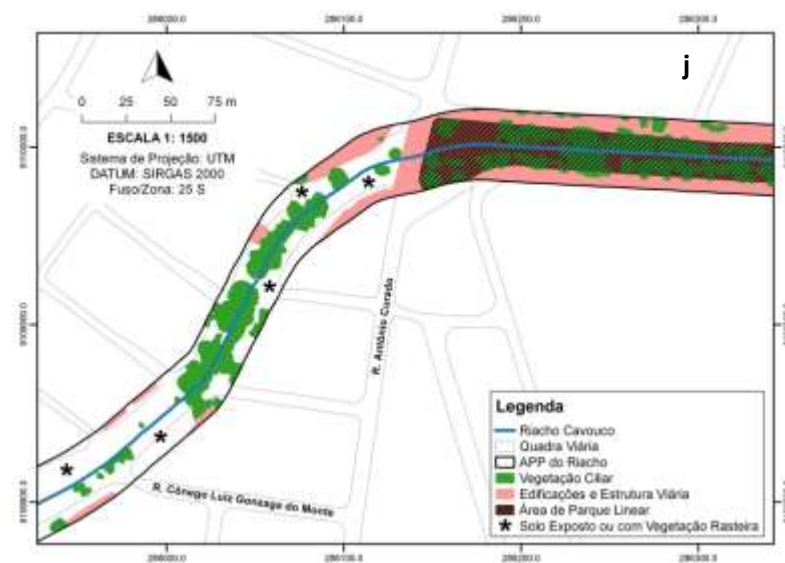
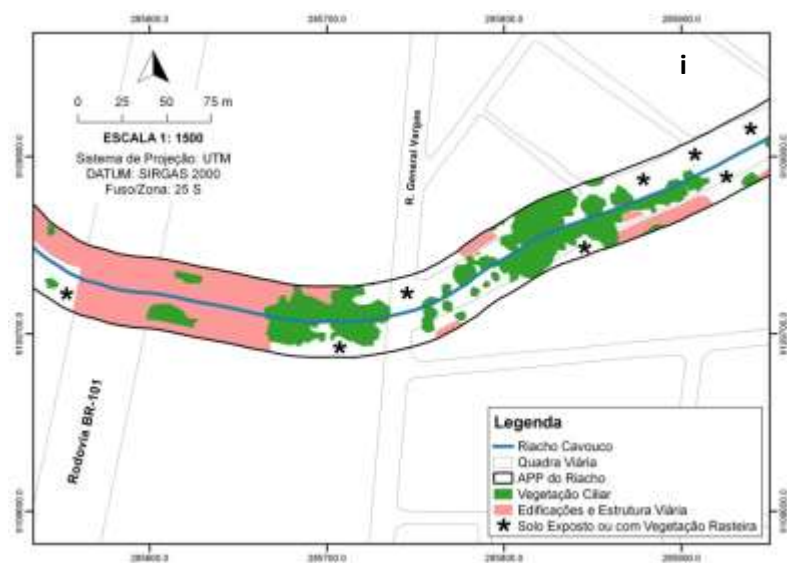
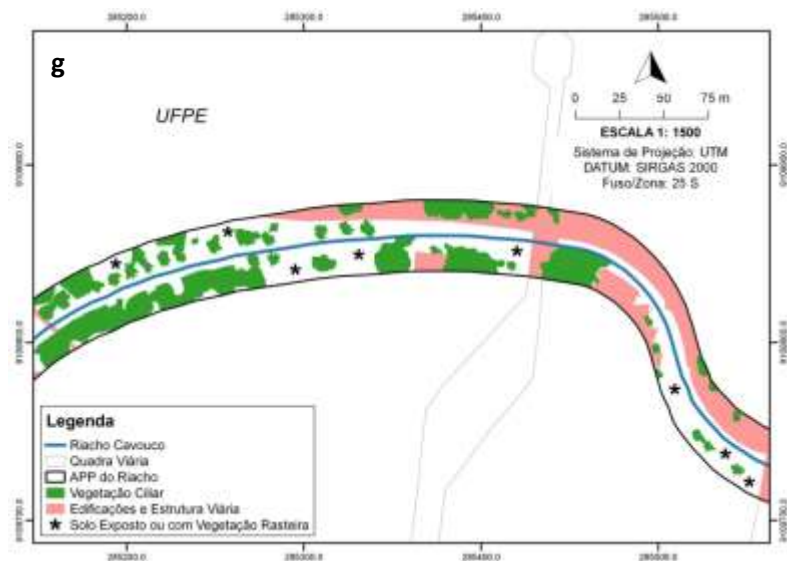
APÊNDICE F – MAPAS DE OCUPAÇÃO, VEGETAÇÃO E PARQUES LINEARES ÀS MARGENS DOS RIACHOS CAVOUÇO E PARNAMIRIM

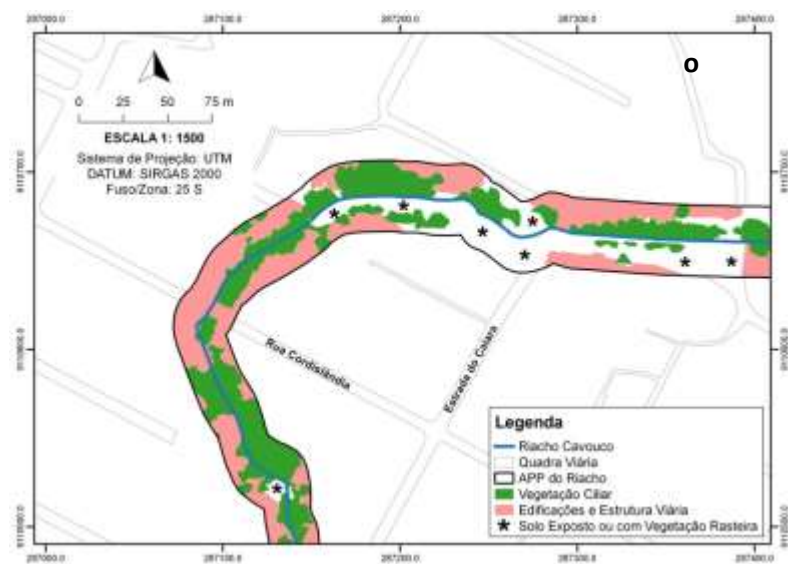
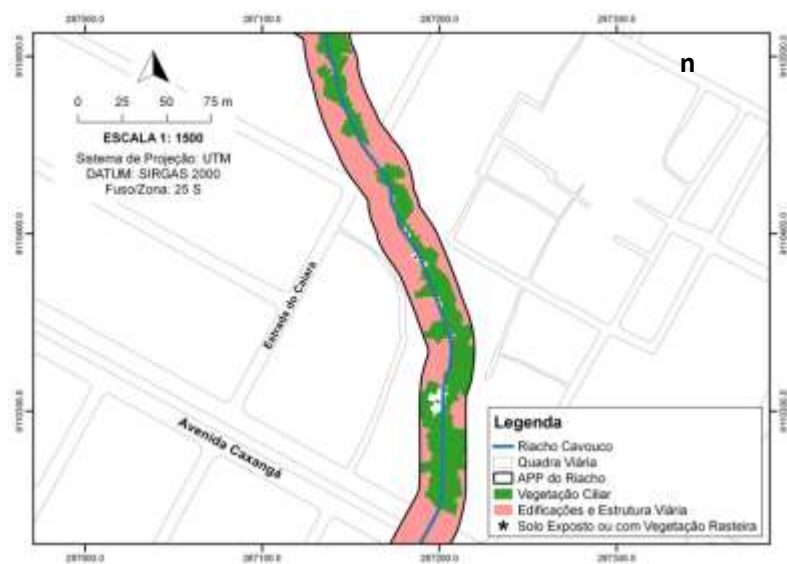
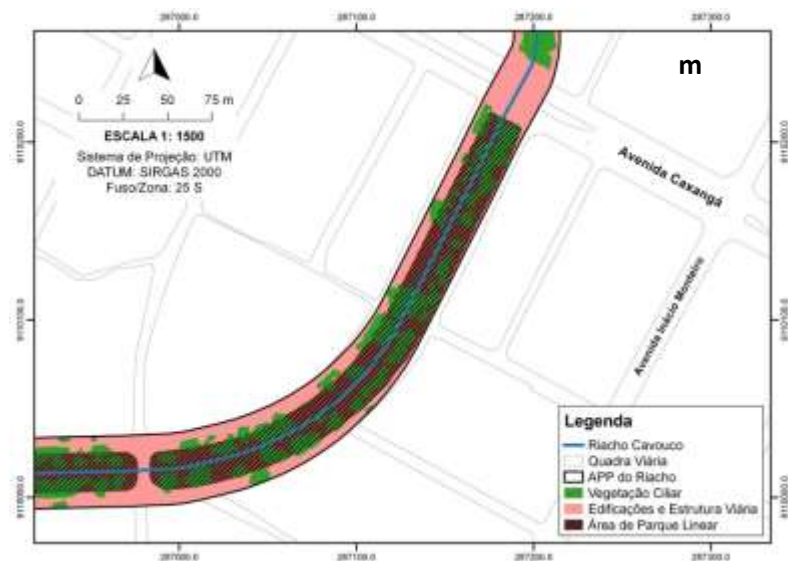
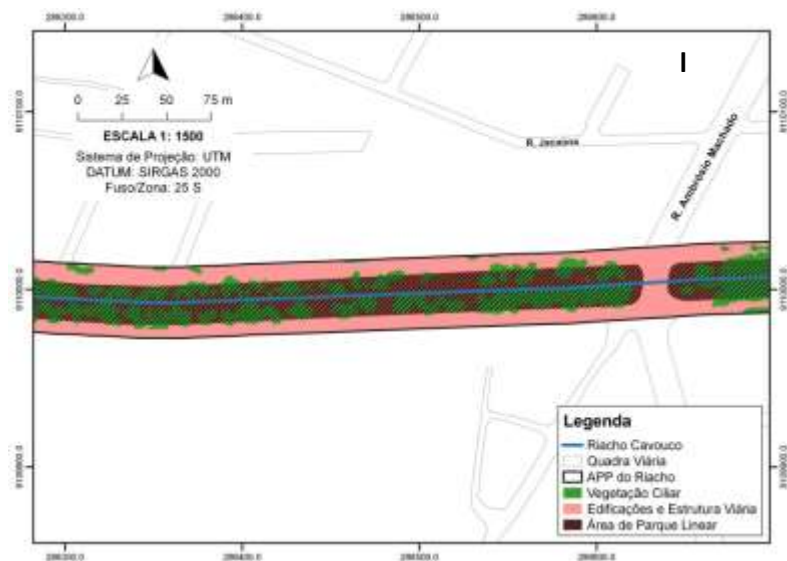
As classes de ocupações do solo (edificações e estrutura viária), vegetação arbórea e parques lineares na faixa de 15 m das margens dos riachos do Cavouco e Parnamirim no Recife foram identificadas e delimitadas a partir de fotointerpretação, utilizando fotografias aéreas ortorretificadas, com vetorização manual na tela do computador, pela edição de um arquivo *Shapefile* com formato de ponto, linha e polígono. As fotografias aéreas, de 2017, foram disponibilizadas pela Prefeitura Municipal do Recife. As figuras 1a, 1b, 1c, 1d, 1e, 1f, 1g, 1h, 1i, 1j, 1m, 1n, 1o, 1p mostram as vetorizações do riacho do Cavouco e as figuras 2a, 2b, 2c, 2d, 2e e 2f do riacho Parnamirim.

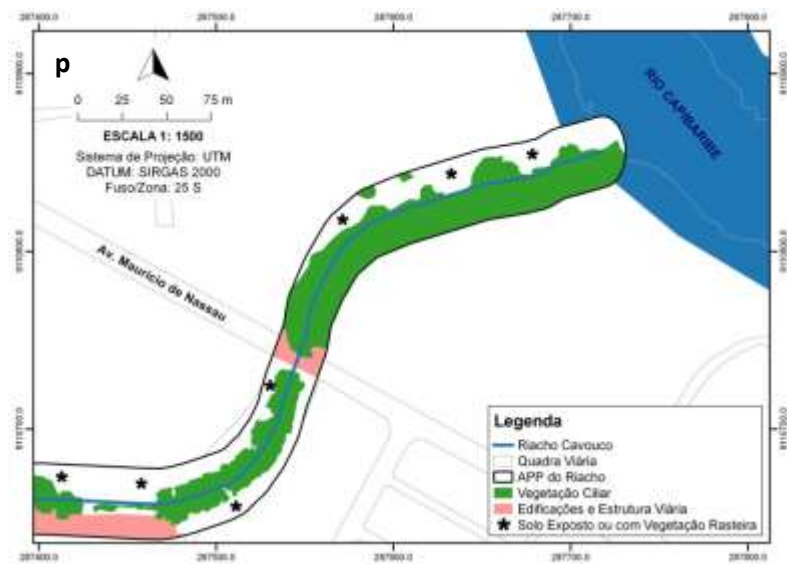
Figura 1 – Vetorizações classes de ocupações do solo (edificações e estrutura viária), vegetação arbórea e parques lineares do riacho do Cavouco.





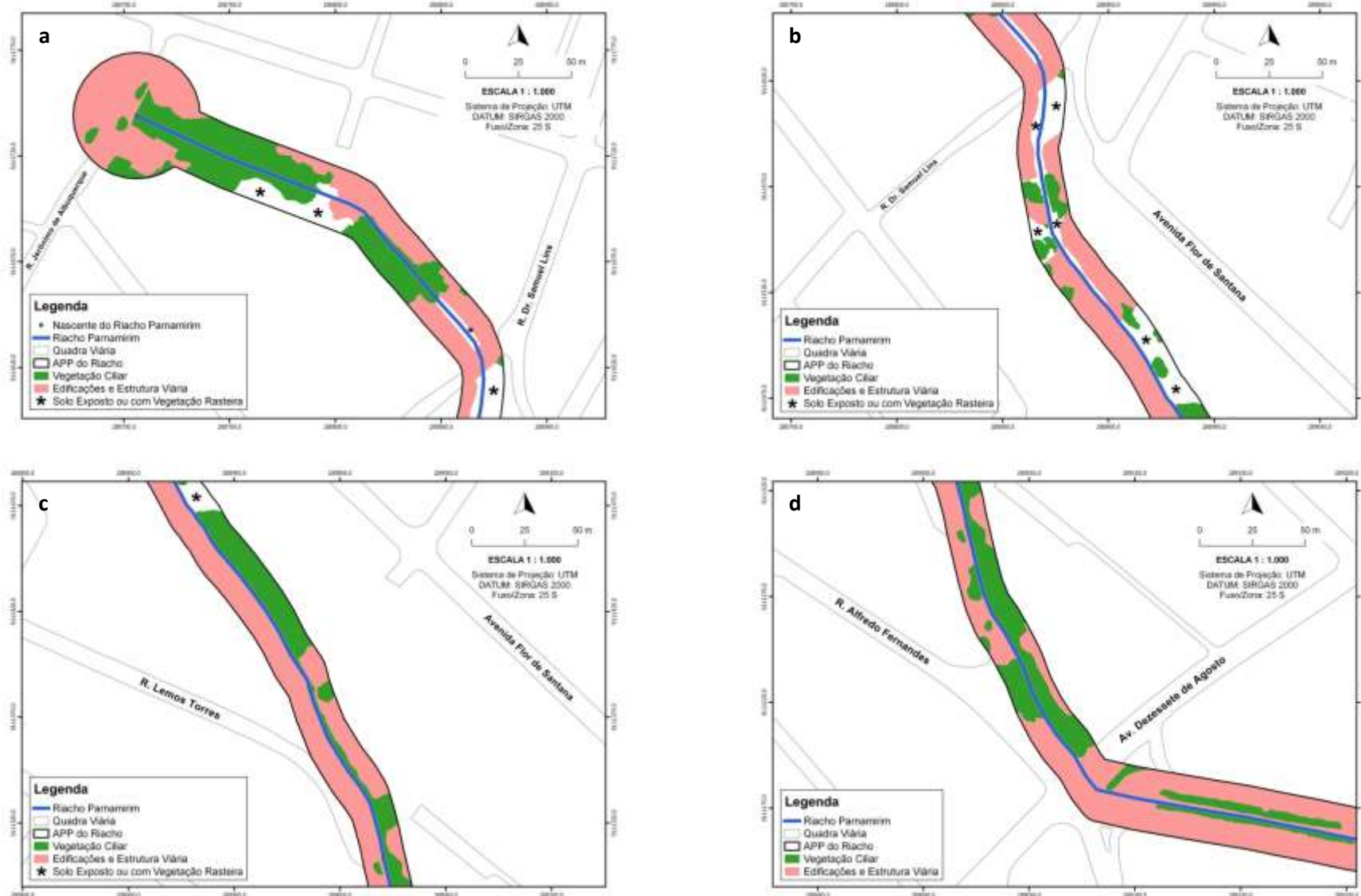


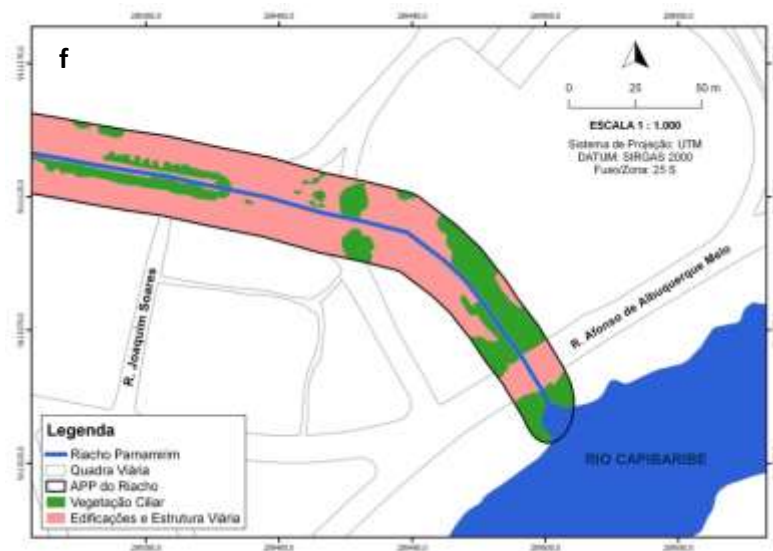
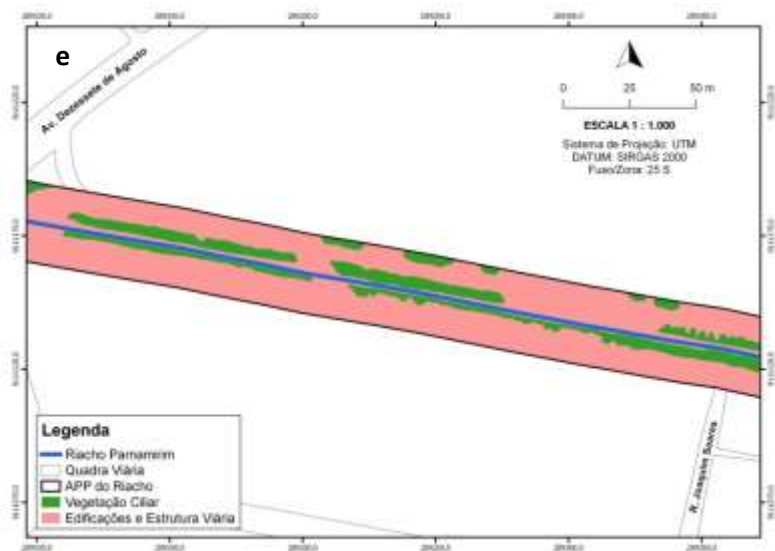




Fonte: O Autor (2019).

Figura 2 – Vetorizações classes de ocupações do solo (edificações e estrutura viária), vegetação arbórea e parques lineares do riacho Parnamirim.





Fonte: O Autor (2019).

APÊNDICE G – PUBLICAÇÕES GERADAS A PARTIR DESTA TESE

COMETTI, J. L. S.; CABRAL, J. J. S. P.; SANTOS, F. P.; CONCEICAO, T. M. Avaliação temporal (2016-2017) e espacial do Índice de Qualidade da Água dos riachos do Cavouco e Parnamirim, Recife-PE. In: Editora Poisson. (Org.). **Sustentabilidade e Responsabilidade Social em Foco**. 1ed. Belo Horizonte: Poisson, 2019, v. 13, p. 12-27.

COMETTI, J. L. S.; CABRAL, J. J. S. P.; SANTOS, F. P.; CONCEICAO, T. M. Caminhos para a revitalização do riacho do Cavouco, Recife-PE. In: Editora Atena. (Org.). **Desafios e Possibilidades do Desenvolvimento Regional e Urbano**. 1ed. Ponta Grossa: Atena, 2019, no prelo.

COMETTI, J. L. S.; CABRAL, J. J. S. P.; ALVES, A. V. B. Impactos da urbanização na qualidade da água de dois afluentes do rio Capibaribe, Recife-PE. In: 13º Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Portuguesa, 2017, Porto. **Anais** do 13º Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Portuguesa. Porto: APRH, 2017.

COMETTI, J. L. S.; VIEIRA, M. A. ; CABRAL, J. J. S. P. ; CARVALHO, A. T. F. . ANÁLISE DO PROCESSO DE LICENCIAMENTO AMBIENTAL DE OBRAS DE DRENAGEM URBANA DO ESTADO DE PERNAMBUCO. In: XIII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 2016, Aracajú. **Anais** do XIII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 2016.

COMETTI, J. L. S.; CABRAL, J. J. S. P.; CONCEICAO, T. M. Índice do Estado Trófico dos Riachos Urbanos Cavouco e Parnamirim, Recife-PE. In: X Simpósio Brasileiro de Engenharia Ambiental e Sanitária, 2019, Recife. **Anais** do X Simpósio Brasileiro de Engenharia Ambiental e Sanitária, 2019.

COMETTI, J. L. S.; CABRAL, J. J. S. P.; CONCEICAO, T. M. Indicadores de pressão-estado-resposta para avaliação da conservação ambiental de riachos urbanos. **Revista Ibero-americana de Ciências Ambientais**, v. 10, p. 194-205, 2019.

APÊNDICE H – ATIVIDADE DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL DESENVOLVIDA

Um grupo de alunos da 6ª série do Colégio Santa Maria, Recife-PE, foi recebido pelo Engenheiro Ambiental José Luís Said Cometti, no mês de julho de 2019, para orientações sobre a ação do homem na poluição dos rios. Primeiramente foi exposto de forma participativa alguns conceitos como: ciclo da água; como se formam os rios; principais poluentes da água; e técnicas de revitalização de rios urbanos (Figura 1). O grupo realizou uma visita técnica ao riacho Parnamirim, onde preencheram uma planilha para o diagnóstico do ambiente (Figura 2). Posteriormente, os alunos desenvolveram uma maquete mostrando a situação do riacho Parnamirim e uma proposta de revitalização com o reflorestamento das margens, instalação de coleta seletiva, e a instalação de equipamentos de esporte e lazer nas margens do riacho (Figura 3). E apresentaram o projeto da Feira de Conhecimentos.

Figura 1 – Exposição participativa de conceitos relacionados aos riachos urbanos.



Fonte: O Autor (2019).

Figura 2 – Visita técnica ao riacho Parnamirim, Casa Forte, Recife-PE.



Fonte: O Autor (2019).

Figura 3 – Maquete produzida mostrando a degradação do riacho Parnamirim (lado esquerdo) e a sua revitalização (lado direito).



Fonte: O Autor (2019).