

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Escola de Engenharia
Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos

Anderson Paulino de Souza

**ANÁLISE E APLICAÇÃO DE ÍNDICES DE SUSTENTABILIDADE EM BACIAS
HIDROGRÁFICAS. Estudo de caso: Sub-bacia do Ribeirão Onça, MG.**

Belo Horizonte
2020

Anderson Paulino de Souza

**ANÁLISE E APLICAÇÃO DE ÍNDICES DE SUSTENTABILIDADE EM BACIAS
HIDROGRÁFICAS. Estudo de caso: Sub-bacia do Ribeirão Onça, MG.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Coutinho de Paula

Belo Horizonte
2020

S729a	Souza, Anderson Paulino de. Análise e aplicação de índices de sustentabilidade em bacias hidrográficas [recurso eletrônico] : estudo de caso : sub-bacia do Ribeirão Onça, MG / Anderson Paulino de Souza. – 2020. 1 recurso online (221 f. : il., color.) : pdf. Orientador: Eduardo Coutinho de Paula. Dissertação (mestrado) Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia. Bibliografia: f. 202-221. 1. Engenharia sanitária - Teses. 2. Meio ambiente - Teses. 3. Bacias hidrográficas - Teses. 4. Sustentabilidade - Teses. I. Paula, Eduardo Coutinho de. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. III. Título. CDU: 628(043)
-------	--



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Escola de Engenharia

Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos

Avenida Antônio Carlos, 6627 - 4º andar - 31270-901 - Belo Horizonte – BRASIL

Telefax: 55 (31) 3409-1882 - posgrad@desa.ufmg.br

http://www.smarh.eng.ufmg.br

FOLHA DE APROVAÇÃO

Análise e Aplicação de Índices de Sustentabilidade Em Bacias Hidrográficas. Estudo de Caso: Sub-bacia do Ribeirão Onça, Mg

ANDERSON PAULINO DE SOUZA

Dissertação defendida e aprovada pela banca examinadora constituída pelos Senhores:

Prof. EDUARDO COUTINHO DE PAULA

Profª TALITA FERNANDA DAS GRAÇAS SILVA

Profª MARIA CLARA VIEIRA MARTINS STARLING

Prof. ANÍBAL DA FONSECA SANTIAGO

Aprovada pelo Colegiado do PG SMARH

Profª. Taciana Toledo de Almeida Albuquerque
Subcoordenadora

Versão Final aprovada por

Prof. Eduardo Coutinho de Paula
Orientador

Belo Horizonte, 02 de março de 2020.

*Aos meus amores, fontes de inspiração e
esperança de um mundo melhor:*

Cinara e Livia;

Eloisa e Cilio;

Mariana e João Pedro.

AGRADECIMENTOS

À sociedade brasileira, que financiou este estudo em prol da difusão do conhecimento.

Ao Professor e amigo Eduardo Coutinho de Paula, pela parceria no desenvolvimento deste trabalho, confiança dispendida e conhecimento compartilhado durante esta jornada.

Aos professores Maria Clara Vieira Martins Starling, Talita Fernanda das Graças Silva e Aníbal da Fonseca Santiago, pelas importantes contribuições neste trabalho e composição da banca de avaliação. Aos professores Márcio Benedito Baptista e Marcos von Sperling, pelas orientações complementares.

Aos pesquisadores Jochen Jesinghaus e Henrique Marinho Leite Chaves, pelas importantes e inestimáveis orientações para a aplicação de algumas metodologias utilizadas nesta dissertação.

Aos profissionais de entidades e órgãos públicos que prontamente forneceram os dados aplicados neste estudo, com presteza e agilidade.

À minha irmã Juliana Souza, pelos conselhos, críticas e grande contribuição na revisão e edição dos meus textos.

À minha irmã Kenia e ao meu cunhado Denilson, pelo apoio, aos meus sobrinhos Mariana e João Pedro, pela alegria de sempre.

Aos meus pais, Eloisa e Cilio, pela criação e exemplo de vida.

Aos meus amores, Cinara Rocha, esposa e amiga, pela paciência, amor e cooperação, e Livia, filha desta dissertação, fonte de inspiração.

Às tias Rosita e Maria Barreto, à Marlene e Lúcio, meus sogros, à Juliana e Júnior, meus cunhados. A todos os meus familiares, amigos e pessoas que de alguma forma contribuíram para realização deste trabalho ou torceram para o seu sucesso.

Aos familiares e amigos que não puderam presenciar o fim desta jornada e hoje guardo nas boas lembranças, em especial, à minha avó Dina, minha tia Maria, ao amigo Raimundo.

A Deus, pelo dom da vida e tudo o que ela representa, sempre.

“Quando a educação não é libertadora, o sonho do oprimido é ser o opressor.” (Freire, 1987)

RESUMO

A intensificação dos problemas socioambientais causados pelas atividades humanas evidenciou o fato de os recursos naturais serem limitados e de seu uso indiscriminado comprometer a sustentabilidade do sistema terrestre. Este trabalho teve como objetivo analisar e aplicar os fundamentos metodológicos de ferramentas de avaliação da sustentabilidade voltados para o diagnóstico socioambiental, bem como identificar potencialidades e fragilidades do uso de índices em processos de tomadas de decisão multidisciplinares e complexos. O estudo se justifica devido à fragmentada difusão de trabalhos relacionados à aplicação de ferramentas de avaliação da sustentabilidade direcionadas a bacias hidrográficas, de modo a fornecer elementos que permitam uma melhor compreensão da pertinência e viabilidade de utilizar sistemas de indicadores de sustentabilidade nesta delimitação territorial. Para o desenvolvimento do trabalho foram selecionados quatro métodos de avaliação de sustentabilidade reconhecidos internacionalmente – Pegada Ecológica (PE), Paineiro da Sustentabilidade (PS), Barômetro da Sustentabilidade (BS) e Índice de Sustentabilidade de Bacias Hidrográficas (WSI - *Watershed Sustainability Index*) – que foram aplicados para o estudo de uma área territorial específica, a sub-bacia do Ribeirão Onça. Inserida na Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas e integrada pelos municípios de Belo Horizonte e Contagem (MG), a região é caracterizada por elevado nível de urbanização, poluição e baixo nível de qualidade dos recursos hídricos. A pesquisa pautou-se pelas seguintes etapas: revisão de literatura, seleção de indicadores para aplicação das ferramentas de análise da sustentabilidade; consultas a pesquisadores e entidades responsáveis pelo desenvolvimento dos índices; e verificação dos resultados junto ao diagnóstico socioambiental disponível no Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio das Velhas (PDRH-Velhas). De forma geral, os resultados de avaliação da sustentabilidade da sub-bacia do Ribeirão Onça, com exceção dos obtidos pela ferramenta PE (foco no consumo), mostraram-se compatíveis: PE, déficit ecológico (não sustentável); PS, nível médio de sustentabilidade; BS, nível intermediário de sustentabilidade; WSI, nível intermediário de sustentabilidade. Apesar das diferenças metodológicas entre as ferramentas, elas foram efetivas na identificação dos problemas mais críticos (qualidade dos recursos hídricos) e das melhorias das perspectivas socioeconômicas na região no período analisado (2010-2014). Ademais, os resultados obtidos pelos quatro métodos apresentam peculiaridades e têm fortes indícios de complementariedade, de modo que o uso de determinado índice não invalida outro. De modo complementar, aplicou-se uma técnica de Inteligência Artificial (*Fuzzy*) para avaliar a região, resultando em nível intermediário de sustentabilidade, coerente aos métodos PS, BS e WSI. No contexto da sub-bacia do Ribeirão Onça, os resultados de avaliação mostraram-se plausíveis à realidade, sendo que alguns dos aspectos socioambientais identificados têm relação direta/indireta com programas socioambientais e seus respectivos orçamentos dispostos no plano de ações do PDRH-Velhas, demonstrando potencial das ferramentas utilizadas nesta pesquisa para auxiliar em processos de tomadas de decisão e diagnósticos de bacias hidrográficas.

Palavras-chave: Diagnóstico de bacias hidrográficas; Pegada Ecológica; Paineiro da Sustentabilidade; Barômetro da Sustentabilidade; WSI.

ABSTRACT

The intensification of socioenvironmental problems caused by human activities emphasized the fact that natural resources are limited and their indiscriminate use compromises the sustainability of the Earth resources. This study aims to analyze and apply the methodological foundations of the main sustainability measurement tools in the socio-environmental diagnosis of the Ribeirão Onça watershed, as well as to identify the potentialities and weaknesses of the use of indexes in complex multidisciplinary decision-making processes. The study is justified by the fragmented dissemination of works related to the application of sustainability assessment tools directed to watersheds, and aims to provide elements that allow a better understanding of the pertinence and feasibility of using systems of sustainability indicators in this territorial delimitation. For the development of the work, four internationally recognized sustainability assessment methods were selected - Ecological Footprint (PE), Sustainability Panel (PS), Sustainability Barometer (BS) and Watershed Sustainability Index - WSI - that were applied to the study of a specific territorial area, the Ribeiro Onça watershed. Inserted in the Rio das Velhas watershed and integrated by the municipalities of Belo Horizonte and Contagem (MG), the region is characterized by a high level of urbanization, pollution, and a low level of quality of water resources. The research was guided by the following steps: literature review, selection of indicators for the application of sustainability analysis tools; consultations with researchers and entities responsible for developing the indexes; and verification of results with the socio-environmental diagnosis available in the Rio das Velhas Basin Water Resources Master Plan (PDRH-Velhas). In general, sustainability assessment results obtained for Ribeirão Onça sub-watershed, with the exception of those obtained by the PE tool (focus on consumption), proved to be compatible: PE, ecological deficit (unsustainable); PS, medium level of sustainability; BS, intermediate level of sustainability; WSI, intermediate level of sustainability. Despite the methodological differences between the tools, they were effective in identifying the most critical problems (quality of water resources) and improvements in socioeconomic perspectives in the region in the analyzed period (2010-2014). In addition, results obtained by the applied methods are peculiar and have strong indications of complementarity, so that the use of one index does not invalidate another. In a complementary way, an Artificial Intelligence (*Fuzzy*) technique was applied to assess the region, resulting in an intermediate level of sustainability, consistent with the PS, BS and WSI methods. In the context of the Ribeirão Onça sub-watershed, the evaluation results obtained were plausible to reality, with some of the socioenvironmental aspects identified having a direct / indirect relationship with the socioenvironmental programs and their respective budgets arranged in the PDRH-Velhas action plan, demonstrating the potential of the tools used in this research to assist in decision-making processes and diagnostics of watersheds.

Keywords: Sustainability; Watershed; Index; Indicator; Ecological Footprint; Dashboard of Sustainability; Barometer of Sustainability; WSI.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1- Esquema Representativo dos Constituintes de uma Bacia Hidrográfica.....	25
Figura 1.2 - Objetivos de Desenvolvimento do Milênio	51
Figura 2.1 - Pirâmide da Informação de indicadores e índices	53
Figura 2.2 - Propriedades de indicadores	59
Figura 2.3 - Composição de um indicador sob duas dimensões.....	62
Figura 2.4 - Modelo Pressão-Estado-Resposta da OECD	64
Figura 2.5 - Distribuição percentual de métodos de avaliação.....	74
Figura 2.6 - Pegada Ecológica.....	76
Figura 2.7 - Cálculo da Pegada Ecológica.....	80
Figura 2.8 - Cálculo da Biocapacidade.....	80
Figura 2.9 - Aplicação da Pegada Ecológica – Países - 2016.....	82
Figura 2.10 - Painel da Sustentabilidade: modo de exibição dos resultados	84
Figura 2.11 - Escala: Painel da Sustentabilidade.....	85
Figura 2.12 - Fluxo de Informação no Painel da Sustentabilidade.....	85
Figura 2.13 - Escala Gráfica do Barômetro da Sustentabilidade.....	87
Figura 2.14 - Dimensões para a Construção do Barômetro da Sustentabilidade	88
Figura 2.15 – À Esquerda (Exemplo de indicador cujo melhor valor é o máximo, plotado na escala de desempenho) / À Direita (Exemplo de indicador cujo melhor valor é o máximo, plotado na escala de desempenho).....	89
Figura 2.16 - – Fluxo do Barômetro da Sustentabilidade.....	90
Figura 2.17 - Exemplo de Indicadores do Barômetro da Sustentabilidade	91
Figura 2.18 – WSI: Indicadores, Modelo Pressão-Estado-Resposta	93
Figura 2.19 - Diagrama de Cálculo do WSI	94
Figura 3.1 - Sub-bacia do Ribeirão Onça	100
Figura 3.2 - Vegetação x Unidades de Conservação x Queimadas	101
Figura 3.3 - Áreas Contaminadas Monitoradas pela FEAM – Sub-bacia do Onça, Síntese ..	102
Figura 3.4 - Parâmetros de Qualidade da Água: Onça – 2010-2014.....	104
Figura 3.5 - Fragilidade Ambiental x Áreas Contaminadas x Enquadramento.....	105
Figura 3.6 - Variáveis Climáticas e Queimadas: Onça – 2010-2018	106
Figura 3.7 – Inundações/Deslizamentos x Precipitação: Belo Horizonte: 2010-2014.....	107

Figura 3.8 - Área de Risco de Inundações e Deslizamentos – Belo Horizonte.....	108
Figura 3.9 - Risco de Inundação e Deslizamentos x Ocupações - BH.....	109
Figura 3.10 - Investimentos - Ribeirão Onça	110
Figura 3.11 - Agendas Sub-bacia do Ribeirão Onça	111
Figura 3.12 – Sub-bacia do Onça: Nascente x Riscos.....	114
Figura 3.13 - Pegada Ecológica – Processamento de Classes Seleccionadas	119
Figura 3.14 - Pegada Ecológica – Processamento de Classes Seleccionadas	125
Figura 3.15 - Nuvem de Palavras de Indicadores Extraídas de Estudos e Relatórios	130
Figura 4.1 - Pegada Ecológica: Resultados	151
Figura 4.2 - Biocapacidade: Resultado.....	152
Figura 4.3 - Pegada Ecológica – Comparações de Aplicações.....	154
Figura 4.4 - Dimensão Ambiental: Painel da Sustentabilidade.....	156
Figura 4.5 - Dimensão Social: Painel da Sustentabilidade.....	158
Figura 4.6 - Dimensão Econômica: Painel da Sustentabilidade.....	160
Figura 4.7 - Dimensão Institucional/Política: Painel da Sustentabilidade	162
Figura 4.8 - Índice de Sustentabilidade Global: Painel da Sustentabilidade.....	164
Figura 4.9 - Gráfico: Dispersão de Pontuação - Painel da Sustentabilidade.....	165
Figura 4.10 - Avaliação das Dimensões Humana e Ecológica – Barômetro da Sustentabilidade	166
Figura 4.11 - Índice de Sustentabilidade Global: Barômetro da Sustentabilidade.....	171
Figura 4.12 - Índice de Sustentabilidade Global: WSI.....	175
Figura 4.13 - Síntese dos Resultados das Ferramentas PE, PS, BS e WSI.....	177
Figura 4.14 - Análise Integrada em Escala e Dimensões Comuns: WSI x BS x PS	181
Figura 4.15 - Sequência de aplicação das ferramentas WSI, PS, BS e PE.....	182
Figura 5.1 - Metodologia <i>Fuzzy</i> : Fluxograma Representativo	190
Figura 5.2 - Resultado: Aplicação de IA (<i>Fuzzy</i>) na Sub-bacia do Onça.....	191
Figura 5.3 - Fluxo Básico de Determinação do ISBHID.....	196

LISTA DE QUADROS

Quadro 1.1 - Modelos de gestão de bacias hidrográficas	27
Quadro 1.2 - Padrões de crescimento e seus impactos econômicos, sociais e ecológicos	30
Quadro 1.3 - Marcos históricos relacionados à sustentabilidade.....	33
Quadro 1.4 - Principais Desafios para a Sustentabilidade.....	38
Quadro 1.5 - Características das visões metodológicas da sustentabilidade	39
Quadro 1.6 - Representações gráficas das dimensões da sustentabilidade.....	40
Quadro 1.7 - Dimensões da sustentabilidade de acordo com alguns autores	43
Quadro 1.8 - Correlações entre as ideologias, níveis e tipificação ecológica	44
Quadro 1.9 – Conjunto de programas listados no Capítulo 18 da Agenda 21	47
Quadro 1.10 - ODM – Resultados Consolidados	49
Quadro 2.1 - Vantagens e desvantagens de indicadores e índices.....	54
Quadro 2.2 - Princípios de Bellagio, Revisado (2009).....	56
Quadro 2.3 - Formas aditivas de composição do índice.....	61
Quadro 2.4 - Parâmetros que compõem o IQA e seus respectivos pesos.....	64
Quadro 2.5 - Exemplos de indicadores da qualidade ambiental urbana: atmosfera.....	65
Quadro 2.6 - África do Sul - Lista de Indicadores Relativos a Águas Interiores	65
Quadro 2.7 - Austrália - Lista de Indicadores Relativos à Água.....	66
Quadro 2.8 - Dimensões e indicadores da iniciativa canadense.....	66
Quadro 2.9 - Dimensões e indicadores do Índice de Pobreza Hídrica	67
Quadro 2.10 - Indicadores da USEPA utilizados no Índice de Bacias.....	68
Quadro 2.11 - Dimensões e indicadores que compõem o SINPLAGE	69
Quadro 2.12 - Dimensões e indicadores do modelo de Ribeiro (2005)	69
Quadro 2.13 - Indicadores e subindicadores constituintes do ISA.....	70
Quadro 2.14 - Estrutura dos indicadores da NBR ISO 37.120:2017.....	71
Quadro 2.15 - Níveis de certificação do WCCD	71
Quadro 2.16 - Iniciativas e Índices de Sustentabilidade Aplicáveis a Bacias Hidrográficas ...	72
Quadro 2.17 - Componentes da Pegada Ecológica.....	77
Quadro 2.18 - Fatores de Equivalência - 2019	79
Quadro 2.19 - Fatores de Produção - 2019	79
Quadro 2.20 - Pegada Ecológica – Vantagens e desvantagens	82

Quadro 2.21 - Indicadores do Painel da Sustentabilidade	83
Quadro 2.22 - Paineis da Sustentabilidade – Vantagens e desvantagens.....	86
Quadro 2.23 - Barômetro da Sustentabilidade – Vantagens e desvantagens.....	92
Quadro 2.24 - WSI – Vantagens e desvantagens.....	96
Quadro 2.25 - Análise Comparativa das Ferramentas PE, PS, BS e WSI.....	96
Quadro 3.1 - Seleção de Indicadores e Parâmetros para Cômputo dos Índices de Sustentabilidade.....	115
Quadro 3.2 - Classes Seleccionadas para Aplicação da Pegada Ecológica.....	117
Quadro 3.3 - Valores de Produtividade Mundial Adotados para Classes	117
Quadro 3.4 - Fatores de Produtividade Local Adotados para Classes.....	118
Quadro 3.5 - Fatores de Produtividade Local.....	118
Quadro 3.6 - Fatores de Equivalência (EQF)	119
Quadro 3.7 - Alimentos Consumidos na Região Metropolitana de Belo Horizonte	120
Quadro 3.8 - Pegada Ecológica: Classe Agricultura	120
Quadro 3.9 - Pegada Ecológica: Classe Pecuária	121
Quadro 3.10 - Pegada Ecológica: Classe Pesca e Aquicultura.....	121
Quadro 3.11 - Volume de Madeira Direcionado para Sub-Bacia Onça	122
Quadro 3.12 - Pegada Ecológica: Classe Madeira – Produtos	122
Quadro 3.13 - Pegada Ecológica: Classe Papel.....	123
Quadro 3.14 - Quantidade Consumida: Subclasse Combustíveis e Emissão de CO ₂	123
Quadro 3.15 - Quantidade Consumida: Subclasse Geração de Resíduos.....	124
Quadro 3.16 - Quantidade Consumida: Subclasse Abastecimento de Água.....	124
Quadro 3.17 - Quantidade Consumida: Subclasse Energia Elétrica	124
Quadro 3.18 - Pegada Ecológica: CO ₂ – Emissões	124
Quadro 3.19 - Pegada Ecológica: Classe Infraestrutura	125
Quadro 3.20 - Biocapacidade: Classe Pecuária	126
Quadro 3.21 - Taxa de Sequestro de Carbono pela Vegetação	127
Quadro 3.22 - Biocapacidade: Classe Floresta.....	127
Quadro 3.23 - Biocapacidade: Classe Infraestrutura	128
Quadro 3.24 - PS: Indicadores Seleccionados: Dimensão Ambiental	130
Quadro 3.25 - PS: Indicadores Seleccionados: Dimensão Social	132
Quadro 3.26 – PS: Indicadores Seleccionados: Dimensão Económica	134

Quadro 3.27 - PS: Indicadores Selecionados: Dimensão Institucional/Política	135
Quadro 3.28 - Indicadores Selecionados – Painel da Sustentabilidade	136
Quadro 3.29 - Indicadores do Barômetro x Indicadores do Painel	138
Quadro 3.30 - Novos Indicadores: Barômetro da Sustentabilidade	139
Quadro 3.31 - Escala de Desempenho: Dimensão Bem-estar Ecológico	140
Quadro 3.32 - Escala de Desempenho: Dimensão Bem-estar Humano	141
Quadro 3.33 - Indicadores do BS, Características e Valores de Referência	143
Quadro 3.34 - WSI – Lista de indicadores	144
Quadro 3.35 - WSI – Indicadores do Grupo Pressão	145
Quadro 3.36 - WSI – Pontuação – Indicadores do Grupo Pressão	146
Quadro 3.37 - WSI – Indicadores do Grupo Estado	146
Quadro 3.38 - WSI – Pontuação – Indicadores do Grupo Estado	147
Quadro 3.39 - WSI – Indicadores do Grupo Resposta	148
Quadro 3.40 - WSI – Pontuação – Indicadores do Grupo Resposta	149
Quadro 4.1 - Pegada Ecológica – Resultados da avaliação da sustentabilidade	150
Quadro 4.2 - Biocapacidade – Resultados da avaliação da sustentabilidade	151
Quadro 4.3 - Pegada Ecológica – Comparações de Aplicações	153
Quadro 4.4 - WSI – Resultados da avaliação da sustentabilidade	172
Quadro 4.5 - Síntese de aplicação das ferramentas PE, PS, BS e WSI	176
Quadro 4.6 - Ajustes de dimensões e escala para o Painel de Sustentabilidade	179
Quadro 4.7 - Ajustes de dimensões e escala para o Barômetro da Sustentabilidade	180
Quadro 4.8 - WSI – Ajustes de escala para a WSI	181
Quadro 4.9 - Etapas de aplicação das ferramentas na sub-bacia do Ribeirão Onça	183
Quadro 5.1 - Pegada Ecológica: Aplicabilidade ao estudo	184
Quadro 5.2 - Painel da Sustentabilidade: Aplicabilidade ao estudo	185
Quadro 5.3 - Barômetro da Sustentabilidade: Aplicabilidade ao estudo	186
Quadro 5.4 - WSI: Aplicabilidade ao estudo	186
Quadro 5.5 - Correlação: Programas Socioambientais x Aspectos identificados	188
Quadro 5.6 - ISBHID: Valores de Referência	197

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ANA – Agência Nacional de Águas

ANATEL – Agência Nacional de Telecomunicações

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

Belotur – Empresa Municipal de Turismo de Belo Horizonte S/A

Bhtrans – Empresa de transportes e Trânsito de Belo Horizonte

BID – Banco Interamericano de Desenvolvimento

BS – Barômetro da Sustentabilidade

CAF – Sistema de Controle de Atividades Florestais

CDS – Comissão de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas

CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais S.A.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CGSI – *Consultive Group on Sustainable Development Indicators*

CM – Colar Metropolitano

CO₂ – Dióxido de carbono

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

CONESAN – Conselho Estadual de Saneamento do Estado de São Paulo

COPASA – Companhia de Saneamento de Minas Gerais

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DESA/UFMG – Dep. Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais

DPSIR – *Driving Forces, Pressure, State, Impact, Response*

DQO – Demanda Química de Oxigênio

EB – Escala do Barômetro da Sustentabilidade

ED – Escala de Desempenho

EHR – Departamento. Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos da UFMG

EPA – Environmental Protection Agency

EPI – Environmental Pressure Index

EQF – Equivalence Fator

ETE – Estação de Tratamento de Esgoto

FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente

FGV – Fundação Getulio Vargas

FPEIR – Força motriz, pressão, estado, resposta, impacto e resposta
GEO – *Global Environment Outlook*
GFN – *Global Footprint Network*
ha – Hectare
HELP – *Hidrology, environment, life, policy*
IA – Inteligência Artificial
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDH – Índice de Desenvolvimento Humano
IDRC – *International Development Research Centre*
IEA – Índice de Estresse Ambiental
IEF-MG – Instituto Estadual de Florestas
IISD – *International Institute for Sustainable Development*
INMET – Instituto Nacional de Meteorologia
INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
IQA – Índice de qualidade da água
ISO – *International Organization for Standardization*
kg – Quilograma
km – Quilômetro
km² – quilômetro quadrado
m – Metro
µg/L – Micrograma por litro
m³ – Metro cúbico
mg/L – Miligrama por litro
MW – Megawatt
NTU – Unidade nefelométrica de turbidez
OD – Oxigênio Dissolvido
ODM – Objetivos do Desenvolvimento do Milênio
ODS – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
OECE – *Organization for Economic Co-operation and Development*
OMS – Organização Mundial de Saúde
ONU – Organização das Nações Unidas

PDRH–Velhas – Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio das Velhas

PE – Pegada Ecológica

PER – Pressão–Estado–Resposta

PIB – Produto Interno Bruto

PNAD – Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios

PNUD – Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento

PNUMA – Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

POF – Pesquisa de Orçamentos Familiares

PS – Painel da Sustentabilidade

RCCV – Resíduos da Construção Civil e Volumosos (RCCV)

RMBH – Região Metropolitana de Belo Horizonte

RSS – Resíduos de Serviços de Saúde (RSS)

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

SVM – *Support Vector Machine*

t – Tonelada

TRE–MG – Tribunal Regional Eleitoral de Minas Gerais

UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais

UFOP – Universidade Federal de Ouro Preto

UnB – Universidade de Brasília

UNESCO – Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura

UTE – Unidade Territorial Estratégica

WCCD – *World Council on City Data*

WCU – *World Conservation Union*

WSI – *Watershed Sustainability Index*

YF – *Yeld Factor*

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	21
1. BACIAS HIDROGRÁFICAS COMO UNIDADE DE GESTÃO AMBIENTAL NO CONTEXTO DA SUSTENTABILIDADE	25
1.1 Desenvolvimento Sustentável e Sustentabilidade.....	28
1.2 Principais Desafios da Sustentabilidade	36
1.3 Dimensões da Sustentabilidade.....	38
1.4 Agenda 21, Objetivos de Desenvolvimento do Milênio e Agenda 2030.....	45
2. INDICADORES E ÍNDICES DE SUSTENTABILIDADE	52
2.1 Princípios e Critérios Para Construção e Seleção de Indicadores.....	55
2.2 Função Valor dos Indicadores	59
2.3 Técnicas de Agregação de Indicadores.....	60
2.4 Iniciativas de Desenvolvimento de Índices e Indicadores de Sustentabilidade	63
2.4.1 Cenário Internacional	63
2.4.2 Cenário Nacional	68
2.5 Principais Ferramentas de Avaliação da Sustentabilidade.....	73
2.5.1 Pegada Ecológica (<i>Ecological Footprint</i>)	75
2.5.2 Painel da Sustentabilidade (<i>Dashboard of Sustainability</i>)	83
2.5.3 Barômetro da Sustentabilidade (<i>Barometer of Sustainability</i>).....	86
2.5.4 Índice de Sustentabilidade de Bacia Hidrográfica (WSI – <i>Watershed Sustainability Index</i>).....	93
2.5.5 Síntese das Características das Ferramentas PE, PS, BS e WSI.....	96
3. A SUB-BACIA DO RIBEIRÃO DO ONÇA COMO UNIDADE DE ANÁLISE	99
3.1 Ferramentas PE, PS, BS e WSI na Sub-bacia do Ribeirão Onça.....	114
3.2 Pegada Ecológica – Seleção de Indicadores para a Sub-bacia do Ribeirão Onça	116
3.2.1 Pegada Ecológica.....	119

3.2.2 Biocapacidade.....	125
3.3 Painel da Sustentabilidade – Seleção de Indicadores para a Sub-bacia do Ribeirão Onça	128
3.3.1 Dimensão Ambiental	130
3.3.2 Dimensão Social.....	131
3.3.3 Dimensão Econômica	133
3.3.4 Dimensão Institucional/Política.....	135
3.3.5 Processamento dos Indicadores Seleccionados	136
3.4 Barômetro da Sustentabilidade – Seleção de Indicadores para a Sub-bacia do Ribeirão Onça	137
3.4.1 Escala de Desempenho: Dimensões Bem-estar Ecológico e Humano	140
3.5 WSI – Seleção de Indicadores para a Sub-bacia do Ribeirão Onça	144
3.5.1 Pressão: Indicadores e Pontuação de Parâmetros	145
3.5.2 Estado: Indicadores e Pontuação de Parâmetros	146
3.5.3 Resposta: Indicadores e Pontuação de Parâmetros.....	148
4. APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS DE AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE NA SUB-BACIA DO RIBEIRÃO ONÇA.....	150
4.1 Uso da Pegada Ecológica na Avaliação da Sub-bacia do Ribeirão Onça.....	150
4.1.1 Categoria Pegada Ecológica	150
4.1.2 Categoria Biocapacidade	151
4.1.3 Saldo Ecológico.....	152
4.2 Uso do Painel da Sustentabilidade na Avaliação da Sub-bacia do Ribeirão Onça.....	155
4.2.1 Dimensão Ambiental	155
4.2.2 Dimensão Social	158
4.2.3 Dimensão Econômica	159
4.2.4 Dimensão Institucional/Política.....	161
4.2.5 Índice de Sustentabilidade Global	163

4.3	Uso do Barômetro da Sustentabilidade na Avaliação da Sub-bacia do Ribeirão Onça	165
4.3.1	Dimensão Bem-estar Humano.....	166
4.3.2	Dimensão Bem-estar Ecológico	168
4.3.3	Índice de Sustentabilidade Global	170
4.3.4	Índices de Estresse Ambiental e de Bem-estar.....	171
4.4	Uso do WSI na Avaliação da Sub-bacia do Ribeirão Onça.....	172
4.4.1	Dimensão Hidrologia.....	172
4.4.2	Dimensão Meio Ambiente.....	173
4.4.3	Dimensão Vida	173
4.4.5	Índice de Sustentabilidade Global	174
4.5	Síntese dos Resultados das Ferramentas PE, PS, BS e WSI.....	176
4.6	Análise Comparativa dos Resultados da Aplicação de Ferramentas de Sustentabilidade Seleccionadas.....	177
5.	VERIFICAÇÃO DA APLICABILIDADE DAS FERRAMENTAS DE SUSTENTABILIDADE SELECIONADAS AO ESCOPO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS	184
5.1	Avaliação da Aplicabilidade das Ferramentas PE, PS, BS e WSI na Sub-bacia do Ribeirão Onça	184
5.2	Tópico Especial: Aplicabilidade e Uso da Inteligência Artificial na Avaliação da Sustentabilidade da Sub-bacia do Ribeirão Onça	189
5.3	Limitações, Tendências e Recomendações.....	192
	CONSIDERAÇÕES FINAIS	198
	REFERÊNCIAS	202

INTRODUÇÃO

O modelo contemporâneo de produção e acumulação de capital, bem como os elevados padrões de consumo de grande parte das sociedades em diversas regiões do mundo têm provocado um agravamento das questões ambientais e comprometido a sustentabilidade do sistema Terra, de modo que o nível de pressão sobre os recursos naturais impostos por atividades antrópicas tem extrapolado a capacidade do planeta em disponibilizá-los. De acordo com um estudo da *Global Footprint Network* (GFN), a capacidade anual do planeta em fornecer recursos à humanidade foi exaurida em 1973, desde então a população tem utilizado as reservas naturais da natureza, registrando déficit ecológico, uma vez que os recursos são consumidos em maior taxa do que a capacidade de reposição. Em 2018, seria necessário cerca de 1,7 planeta para atender às necessidades humanas de consumo (GFN, 2019).

Sob este aspecto, torna-se cada vez mais relevante contabilizar os prejuízos socioambientais oriundos da exploração irracional dos recursos naturais, bem como o valor intrínseco da conservação dos serviços ambientais disponibilizados pela simples existência de florestas, ar puro, água e biodiversidade (MARQUES, 2016). Uma conjuntura de crise ambiental, no mundo e no Brasil, reforça a necessidade do desenvolvimento de pesquisas focadas na mensuração da sustentabilidade e na melhor compreensão das complexas relações entre os atores e recursos, elementos centrais do presente estudo. Assim, é indispensável o desenvolvimento de ferramentas de mensuração da qualidade socioambiental e a adoção de práticas que visem o uso racional do capital natural disponível, a fim de que as taxas de produção e consumo de recursos naturais se mantenham abaixo da capacidade da natureza em responder e fornecê-los na perspectiva do dinâmico conceito de sustentabilidade (GFN, 2006; SACHS, 1993).

Em virtude da complexidade e diversidade ambiental, a construção de indicadores e índices de sustentabilidade constitui-se um desafio permanente para a comunidade acadêmica, órgãos responsáveis pela manutenção dos ecossistemas e outros atores envolvidos na questão ambiental. Dentre os diversos métodos de avaliação de sustentabilidade disponíveis, destacam-se: a Pegada Ecológica (PE), criada por Wackrnagel e Riss em 1996; o Painel da Sustentabilidade (PS), desenvolvido em 1999 por uma rede internacional de pesquisadores intitulada *Consultive Group on Sustainable Development Indicators* (CGSI); e o Barômetro de Sustentabilidade (BS), criado por Prescott-Allen em 1997, com apoio das entidades

internacionais *World Conservation Union* (WCU) e *International Development Research Centre* (IDRC). Há ainda o Índice de Sustentabilidade de Bacias Hidrográficas (WSI - *Watershed Sustainability Index*), criado mais recentemente por Chaves & Alipaz (2007), que se torna uma ferramenta importante no âmbito deste trabalho, que se propõe a discutir a mensuração da sustentabilidade de uma sub-bacia localizada especificamente no estado de Minas Gerais, Brasil.

Inicialmente, cabe esclarecer que um indicador é uma ferramenta que permite abstrair informações sobre determinado objeto, serviço ou cenário, enquanto índice se refere ao valor agregado de um conjunto de indicadores (SICHE *et al.*, 2007). A bacia hidrográfica, por sua vez, caracteriza-se como unidade territorial de planejamento e gestão ambiental pelo fato de apresentar características geoambientais relativamente homogêneas em determinada área.

Neste contexto, o presente estudo teve como objetivo aplicar os fundamentos metodológicos das ferramentas PE, PS, BS e WSI para mensurar a sustentabilidade da sub-bacia do Ribeirão Onça (período 2010-2014), inserida na bacia do Rio das Velhas, ela ocupa porções territoriais dos municípios de Belo Horizonte e Contagem (MG). De modo complementar, buscou-se verificar a aderência dos resultados obtidos pelas ferramentas PE, PS, BS e WSI ao diagnóstico socioambiental disponível no Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio das Velhas e avaliar o potencial do uso de ferramentas de mensuração da sustentabilidade em processos de tomadas de decisão multidisciplinares e complexos.

Ao longo das fases de elaboração e análises desta pesquisa foram verificadas as seguintes hipóteses: os métodos mais difundidos para avaliação da sustentabilidade apresentam critérios e fundamentação científica similares e/ou compatíveis; as ferramentas selecionadas para mensuração da sustentabilidade de bacias hidrográficas apresentam alto nível de efetividade, sendo dispensável o desenvolvimento de novos modelos/metodologias; índices de sustentabilidade, quando aplicados a bacias hidrográficas, fornecem informações em qualidade e quantidade suficientes para auxiliar em processos de tomadas de decisão.

A pesquisa se justifica diante da pequena e fragmentada difusão de estudos técnicos e científicos relacionados à aplicação de ferramentas de avaliação da sustentabilidade focalizados em bacias hidrográficas (a maior parte das referências pesquisadas têm como unidade territorial de análise

cidades, estados, países ou empreendimentos), de modo a fornecer elementos que permitam melhor compreensão dos fatores potencializadores e limitantes da utilização de sistemas de indicadores de sustentabilidade nesta delimitação territorial. Outro fundamento concerne à aplicação de quatro métodos (referências consultadas têm se limitado, majoritariamente, a analisar dois métodos simultaneamente), possibilitando identificar as fragilidades e robustez de cada ferramenta e disponibilizar informação para entidades/agentes tomadores de decisão selecionarem a(s) mais adequada(s) aos seus objetivos. Quanto à verificação dos resultados, o fato da sub-bacia do Onça dispor de plano diretor e diagnósticos recentes propicia a análise do nível de aderência/acurácia dos resultados obtidos pelas ferramentas de avaliação diante da realidade (referências verificadas normalmente não possuem mecanismos de verificação/validação).

Este estudo está delineado sob forma de pesquisa qualitativa, a metodologia consistiu em selecionar ferramentas de análise de sustentabilidade com potencial para aplicação em bacias hidrográficas. As ferramentas PE, PS, BS e WSI foram escolhidas pelo fato de atenderem aos seguintes critérios: ferramentas de mensuração da sustentabilidade mais recomendadas por diversos autores; disporem de estudos amplamente difundidos no cenário internacional; boa capacidade de replicação e comparação; aplicabilidade à escala local/regional (bacias hidrográficas); nível de subjetividade reduzido; ter como base de cálculo dados secundários de alta disponibilidade e confiabilidade.

Quanto à área de estudo, optou-se pela sub-bacia do Ribeirão Onça como objeto empírico devido à sua caracterização pelo elevado nível de urbanização e poluição, baixo nível de qualidade dos recursos hídricos e disponibilidade de dados socioambientais da região no Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas (2015), que encontravam-se acessíveis e permitiam uma comparação consistente dos resultados obtidos na pesquisa com diagnósticos oficiais. Adicionalmente, por estar delimitada a uma área de 221 km², a sub-bacia é classificada como representativa (até 250 km²), escopo geográfico para o qual a literatura tem registrado resultados de avaliação ambiental com bons níveis de assertividade (PAIVA e PAIVA, 2001).

Uma vez selecionadas as ferramentas de análise e a sub-bacia de estudo, para a aplicação de cada ferramenta, foram selecionados indicadores que melhor se adequavam à realidade local,

em um trabalho minucioso que levou em consideração a relevância e representatividade do indicador para regiões metropolitanas com questões socioambientais complexas, razoabilidade de compreensão e replicação dos resultados, acessibilidade e confiabilidade dos dados, sensibilidade para identificar alterações na realidade avaliada.

O trabalho está estruturado em cinco capítulos. O primeiro aborda a concepção das bacias hidrográficas como unidades de gestão ambiental, conceitos, desafios e dimensões acerca do tema sustentabilidade e traz os principais mecanismos de promoção da agenda socioambiental. O segundo capítulo trata as bases conceituais de indicadores e índices de sustentabilidade, seus princípios e características, bem como as principais ferramentas de mensuração da sustentabilidade, com destaque àquelas selecionadas neste estudo (PE, PS, BS, WSI). O terceiro capítulo, tópico estruturante deste estudo, discorre sobre a sub-bacia do Ribeirão Onça e suas peculiaridades, bem como a preparação das ferramentas PE, PS, BS, WSI, e os respectivos indicadores utilizados para cômputo e avaliação da sustentabilidade local. No capítulo quatro são apresentados os resultados e análises da aplicação dos quatro métodos selecionados. O quinto e último capítulo reserva-se a verificar a aplicabilidade das ferramentas adotadas ao contexto de bacias hidrográficas, especificamente a sub-bacia do Onça, e, de modo complementar, apresenta uma experiência de Inteligência Artificial baseada no método *Fuzzy* para mensurar a sustentabilidade da sub-bacia. Identificação de limitações metodológicas, tendências de pesquisas e recomendações são itens que complementam este tópico. Por fim, são apresentadas as considerações gerais sobre a pesquisa.

1. BACIAS HIDROGRÁFICAS COMO UNIDADE DE GESTÃO AMBIENTAL NO CONTEXTO DA SUSTENTABILIDADE

Entende-se por bacia hidrográfica uma área de captação natural das águas oriundas da precipitação da chuva e pontos de surgência de cursos d'água subsuperficiais e/ou subterrâneos. As características topográficas do relevo determinam, majoritariamente, o fluxo dos cursos d'água, direcionando-os para os pontos mais baixos do terreno, confluindo-se até formarem um único ponto de saída (exutório) (Figura 1.1). As bacias hidrográficas apresentam características geoambientais relativamente homogêneas (TUCCI, 1993) e os limites territoriais normalmente não coincidem com delimitações político-administrativas, contemplando municípios diversos, com diferentes estruturas, capacidade técnica e financeira incompatíveis, ao passo que a gestão de bacias requer elevado nível de cooperação entre as partes envolvidas (CUNHA, 2003).

Figura 1.1- Esquema Representativo dos Constituintes de uma Bacia Hidrográfica



Fonte: Guroo, 2019.

Bacia hidrográfica é também local de integração, nela ocorrem complexas inter-relações entre o meio físico, biótico, social, econômico, cultural e os recursos hídricos (YASSUDA, 1993). Sob este aspecto, estudos de bacias hidrográficas devem ter enfoque sistêmico (BOTELHO e SILVA, 2007), especificamente referenciados pela Teoria de Sistemas, que por sua vez tem como prerrogativas as trocas e fluxos de matéria e energia na natureza, cujas complexas

relações resultam em equilíbrio dinâmico, sendo este frequentemente modificado por ações antrópicas (ROSS, 1994). Na perspectiva sistêmica, a bacia hidrográfica é um sistema aberto que propicia trocas de energia e matéria através dos fluxos cíclicos da água (CHISTOFOLETTI, 1979), interagindo com todos os espaços de circulação e armazenamento de recursos hídricos (VILAÇA & NASCIMENTO, 2008), sendo agente transformador dos meios físico, biótico e antrópico.

Para Vaeza *et al.* (2010), a bacia hidrográfica é a unidade adequada para gestão de uso, planejamento e extração de recursos naturais devido ao fato de seus limites territoriais apresentarem pouca variação na escala de tempo humana. Deste modo, as alterações naturais e antrópicas, bem como o uso/ocupação do solo e o controle dos recursos hídricos são evidenciados e monitorados de forma mais eficiente.

Há relatos de que o entendimento dos princípios e conceitos básicos de configuração do território por bacias hidrográficas teve origem na Idade Média, sendo as regiões dos atuais Sri Lanka e China as que empregaram de forma primordial a concepção de bacias hidrográficas e classificação de recursos hídricos (MOLLE, 2006). Desde a década 1940 a bacia hidrográfica é reconhecida como unidade espacial na Geografia Física, de modo que profissionais das áreas de geografia e ciências ambientais têm buscado aplicar e difundir esta delimitação territorial como unidade básica de análise em pesquisas relacionadas à temática socioambiental (ROSA, 2011).

A evolução e ampliação da abordagem para a definição da bacia hidrográfica como unidade territorial de planejamento, gestão do uso/ocupação do solo e ambiental ocorreu de forma mais efetiva a partir da década de 1950, com destaque para Alemanha, França, Estados Unidos e Brasil. A Alemanha é referência inicial no modelo de gestão territorial por bacias hidrográficas, tendo aplicado diretrizes específicas desde 1957 (revisadas em 1986). A França, a partir da sanção da lei de gestão de recursos hídricos em 1964, trouxe inovações administrativas ao reconhecer a necessidade de delimitar e atuar em áreas geográficas naturais do ciclo da água para prover soluções aos problemas territoriais complexos e multidimensionais (BEVILACQUA & RESCHILIAN, 2010).

A Declaração de Dublin (Irlanda) sobre Água e Desenvolvimento Sustentável, de 1992, fortaleceu a abordagem ao trazer princípios de gestão de recursos hídricos com base no recorte territorial das bacias hidrográficas. O documento enfatiza que para haver gestão eficiente dos recursos hídricos deve-se integrar avaliações dos aspectos físicos, sociais e econômicos. Frente aos avanços observados, os Estados Unidos aprimoraram conceitos, abordagens técnicas e administrativas, tendo adotado a bacia como unidade de planejamento em 1993 (BOTELHO, 1999). No Brasil, o reconhecimento da bacia hidrográfica como unidade geográfica se deu por meio da Lei Federal 9.433 de 1997, Política Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997) (GARCIA, 2011).

Os modelos de gestão de bacias hidrográficas podem ser estruturados sob as perspectivas administrativa, finalidade e abrangência temática. Os fundamentos básicos de evolução destes modelos são apresentados no Quadro 1.1:

Quadro 1.1 - Modelos de gestão de bacias hidrográficas

Período	Administrativo-instrumental Yassuda (1993)	Finalidades das ações Dourojeanni (1994)	Abrangência temática Leal (1998)
Até 1940	Modelo burocrático Entidades públicas concentram ações gerenciais, poder decisório, autoridades hierárquicas e formalistas; Negociação política administrativa e jurídica; Gestão casuística via instrumentos jurídicos e administrativos.	Controle e aproveitamento da água por meio da construção de obras hidráulicas com funções específicas; Administração da água por bacias.	Recursos hídricos isolados Gerenciamento concentrado em evitar inundações, regularização de cursos d'água, captação para abastecimento público e geração de energia elétrica.
1950 - 1960	Modelo econômico financeiro Poder público busca otimizar o benefício econômico por meio do aproveitamento dos recursos hídricos, a fim de promover o desenvolvimento econômico; Negociação política e econômica. Gestão via instrumentos econômicos e normas legais.	Desenvolvimento regional em nível de bacias, obras hidráulicas de grande porte com fins de usos múltiplos; Gestão de bacias hidrográficas com o intuito de aproveitar e conservar os recursos naturais da bacia; Ênfase no controle da erosão, sedimentação e assoreamento dos reservatórios construídos.	Visão multisetorial da bacia Gerenciamento complexo; Visa integrar e compatibilizar os usos múltiplos da água: energia, transporte, saneamento, mineração.
1970 - 2010	Modelo sistêmico de integração participativa Estrutura sistêmica, gerencial, responsável e funcional; Negociação econômica, política e jurídica. Adota três instrumentos: planejamento estratégico por bacias hidrográficas; tomada de decisão por meio deliberações multilaterais e descentralizadas; instrumentos legais e financeiros.	Gestão ambiental por bacias hidrográficas; Coordenação multisetorial das ações de desenvolvimento e gestão dos recursos naturais na bacia.	Recursos hídricos inseridos no ambiente da bacia Gerenciamento voltado ao planejamento e coordenação sobre a utilização e distribuição da água, considera a bacia hidrográfica como unidade básica de gestão.
Tendências	Gestão integral de bacias hidrográficas.	Sustentabilidade da bacia hidrográfica.	Ambiente integral da bacia hidrográfica.

Fonte: Adaptado de Laura, 2004.

Observa-se no Quadro 1.1, que independentemente do modelo de gestão de bacia hidrográfica (recursos hídricos) adotado, todos apresentam tendências de abordagens holísticas, ações integradas por diversas esferas sociais e foco na sustentabilidade. Neste sentido, entidades afetas à gestão ambiental têm alcançado resultados e diagnósticos mais efetivos quando utilizam como unidade territorial de gestão socioambiental a bacia hidrográfica face aos resultados obtidos que têm como referência unidades territoriais político-administrativas comuns (cidades, estados etc.). Estes aspectos são justificados pelos itens abaixo (PIRES; SANTOS; DEL PRETTE; 2002):

- a) A compatibilização de ações e políticas integradas para adoção de práticas equitativas de desenvolvimento econômico, social e conservação dos recursos naturais apresenta maior nível de exequibilidade em nível local;
- b) O território delimitado pela bacia hidrográfica normalmente contempla comunidades, usuários, gestores e agentes políticos de diferentes municipalidades e níveis (econômicos, acadêmicos, sociais), resultando em tomadas de decisão mais democráticas e duradouras;
- c) A combinação de investimentos privados e públicos conferem maior capacidade de sustentabilidade financeira à gestão, bem como receitas oriundas pelo uso da água e taxas pagas por usuários poluidores.

A bacia hidrográfica pode ser subdividida em áreas menores (sub-bacias e microbacias), de acordo com os objetivos dos estudos e planejamentos que serão desenvolvidos na região. Os conceitos e áreas correspondentes às delimitações vinculadas aos termos microbacias e sub-bacias não são consensuais na literatura. Neste trabalho foram adotadas as definições:

- Microbacia: bacia com área que menor do que 100 km² (FAUSTINO, 1996);
- Sub-bacia: bacia com área que varia entre 200 e 300 km² (MARTINS, 2005).

1.1 Desenvolvimento Sustentável e Sustentabilidade

Sustentabilidade e desenvolvimento sustentável, termos amplamente difundidos na comunidade acadêmica, setores econômicos e redes sociais, são reconhecidos por públicos dos mais diferentes níveis sociais, porém, não apresentam consensos conceituais (LINDSEY, 2011), dada a complexidade e amplitude do tema. Com frequência, e de forma equivocada,

estes termos têm sido mal compreendidos e interpretados como simples questões relacionadas à pobreza, degradação ambiental e crescimento econômico (SLIMANE, 2012), ignorando suas complexas inter-relações e as consequências das ações presentes para longevidade do bem-estar social e manutenção dos recursos naturais.

Entre os primeiros registros sistemáticos a abordarem o tema sustentabilidade está a obra *Sylva, A Discourse of Forest-Trees and the Propagation of Timber* (Um Discurso das Árvores da Floresta e Propagação da Madeira), publicada pelo escritor inglês John Evelyn em 1664, o documento enfatiza a conscientização e preocupação com o risco de escassez de recursos naturais, bem como a necessidade de desenvolvimento econômico racionalizado às restrições ambientais. O termo *Nacchhaltig* (sustentável) apareceu pela primeira vez em 1713 no livro *Sylvicultura Oeconomica oder Anweisung zur wilden Baumzucht* (Silvicultura Econômica), do alemão Hans Carl Von Carlowitz. Preocupado com o cenário de desmatamento, destruição de florestas e escassez de madeira que assolou a Europa no período, o autor apresenta ideias de reflorestamento, reaproveitamento de energia, substituição de madeira por combustíveis fósseis e uso eficiente de recursos visando o uso contínuo dos recursos florestais e sua respectiva conservação em longo prazo (GROBER, 2007), buscando compreender as relações ecologia-natureza, economia e sociedade (PISANI, 2006).

O conceito mais difundido de desenvolvimento sustentável é o definido no *Brundland Report* (1987): atendimento das necessidades das gerações atuais sem comprometer a capacidade de as gerações futuras atenderem suas próprias necessidades. O termo remete a uma relação de equilíbrio social, econômico e ambiental, de modo que os processos de produção de bens e serviços respeitem a capacidade de suporte/renovação dos recursos naturais (HOGAN, 1995). Para Barter e Russell (2012), trata-se de um conjunto de práticas que tem como objetivo dispor uma qualidade de vida digna à população a um ritmo que compatibilize crescimento econômico inclusivo, produção e consumo sustentável. Para Lozano (2012), o uso eficiente de recursos naturais e justiça social devem ser os pilares do crescimento econômico, deste modo, faz-se necessário que a sociedade ajuste seus valores e comportamentos à ideia de conservação e manutenção dos recursos disponibilizados pelo planeta em longo prazo (BAÑO GOMIS, 2011).

O desenvolvimento sustentável deve ser capaz de prover um crescimento econômico estável, com distribuição equitativa de renda, redução das diferenças sociais e melhoria da qualidade de

vida da população (BENETTI, 2006 *apud* KAVINSKI, 2009). Sachs (2009b) relacionou padrões de crescimento com seus respectivos impactos (positivos e negativos) econômicos, sociais e ecológicos (Quadro 1.2). Sob esta notação, o crescimento no setor econômico, social ou ambiental podem acontecer em uma ou mais dimensões, de forma desequilibrada. O desenvolvimento sustentável ocorre quando impactos positivos são identificados de forma equilibrada nas dimensões econômica, social e ambiental simultaneamente.

Quadro 1.2 - Padrões de crescimento e seus impactos econômicos, sociais e ecológicos

Padrões de crescimento	Impactos		
	Econômicos	Sociais	Ecológicos
Crescimento desordenado	+	-	-
Crescimento social benigno	+	+	-
Crescimento ambiental sustentável	+	-	+
Desenvolvimento sustentável	+	+	+

Fonte: Adaptado de Sachs, 2009b.

Feil e Shreiber (2017) apresentam as características essenciais do desenvolvimento sustentável:

- a) Tem como objetivo o crescimento econômico sem promover degradação ambiental;
- b) Visa respeitar as necessidades das gerações futuras;
- c) Abrange aspectos ambientais, econômicos e sociais em relação de equilíbrio;
- d) Sugere mudanças culturais e comportamentais para a sociedade;
- e) Envolvem processos, práticas e estratégias para atingir metas e objetivos.

Já o termo sustentabilidade é considerado mais abrangente do que o desenvolvimento sustentável, referindo-se à condição ou qualidade de algo que pode se sustentar, manter ou conservar (FERREIRA, 2010). Para Sartori *et al.* (2014), sustentabilidade é a capacidade do sistema global, caracterizado pela integração ambiental e humana, conservar suas qualidades em nível próximo à sua média histórica, resistindo a processos dinâmicos ao longo do tempo. Segundo Grober (2007), o termo remete a um estilo de pensar e agir potencializado pelo amadurecimento cultural das sociedades, com vistas à solução da escassez de recursos, de modo a usufruí-los de forma contínua.

Para Dempsey *et al.* (2011), sustentabilidade é a junção equilibrada de três interesses distintos, ambiental, econômico e social, cujas interações, complexas e simultâneas, devem buscar reduzir efeitos prejudiciais em ambas as dimensões da sustentabilidade (FABER *et al.*, 2005).

As propriedades essenciais da sustentabilidade podem ser sintetizadas (FEIL & SCHREIBER, 2017):

- a) Baseia-se na qualidade e propriedade do sistema global, composto pelas dimensões humana e ambiental;
- b) Considera evoluções dinâmicas temporais;
- c) Contempla os aspectos ambiental, econômico e social em equilíbrio mútuo;
- d) Pode ser avaliada por meio de indicadores e índices.

Alguns autores sugerem que podem existir mais de 160 definições diferentes para tratar termos relacionadas à sustentabilidade e ao desenvolvimento sustentável (VAN BELLEN, 2002). Para muitos, o conceito de sustentabilidade é sinônimo ou possui relações muito estreitas com o termo desenvolvimento sustentável. De certa forma, subentende-se que o desenvolvimento sustentável é o conjunto de ações que visam lograr a sustentabilidade, termo mais abrangente, este será o enfoque deste trabalho a partir deste ponto.

Para Hardi e Zdan (1997) o progresso rumo à sustentabilidade é tangível por meio da consolidação do bem-estar humano e dos ecossistemas, que devem ser abordados de forma global, ao passo que um simples ator, empresa e ou entidade não pode ser considerado sustentável de modo isolado, deve-se a avaliar a sustentabilidade sistêmica, contemplando os elementos, recursos e ambiente como um todo. Robert *et al.* (1995) apresentam algumas condições que devem ser atendidas para que determinado sistema alcance a sustentabilidade:

- a) Os recursos e insumos naturais não devem aumentar de forma abrupta na ecosfera, ao ponto de evitar desequilíbrios no sistema;
- b) As substâncias produzidas pela sociedade não devem aumentar de forma sistemática;
- c) Os recursos físicos, base para a produtividade e a diversidade da natureza, não devem ser reduzidos em grande escala;
- d) Os recursos naturais devem ser utilizados de forma eficiente, utilizando apenas o necessário para satisfazer as necessidades humanas.

Já a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (CNUMAD, 1992) teve um enfoque mais amplo, com maior vínculo com as responsabilidades da sociedade frente aos desafios da sustentabilidade, para a qual os seguintes princípios devem ser contemplados (KAVINSKI, 2009 *apud* SOUTO, 2011):

- a) Satisfação das necessidades básicas da população;
- b) Solidariedade com as gerações futuras;
- c) Participação da população envolvida;
- d) Preservação dos recursos naturais e do meio ambiente em geral;
- e) Elaboração de um sistema social, garantindo emprego, segurança social e respeito com outras culturas;
- f) Desenvolvimento de programas de educação.

No âmbito deste trabalho, que tem como foco uma bacia hidrográfica urbana integrada por duas grandes cidades, dois conceitos complementares delimitam a abrangência da sustentabilidade:

- **Cidade Sustentável:** “assentamento humano constituído por uma sociedade com consciência de seu papel de agente transformador dos espaços e cuja relação não se dá pela razão natureza-objeto e sim por uma ação sinérgica entre prudência ecológica, eficiência energética e equidade socioespacial” (ROMERO, 2007). É caracterizada pelo uso de formas alternativas de energia, priorização do transporte público, programas de reciclagem de resíduos, redução do desperdício, prevenção da poluição e maximização da conservação de recursos naturais (PROGRAMA CIDADES SUSTENTÁVEIS, 2019).
- **Sustentabilidade Urbana:** status de uma região que alcançou o equilíbrio entre o desenvolvimento das áreas urbanas, proteção do meio ambiente e aumento da qualidade de vida da população, potencializado por equidade na distribuição de renda, empregos dignos, habitação, infraestrutura social e transporte público de qualidade (HIREMATH *et al.*, 2013). Pode abranger uma ou mais cidades.

De forma geral, os princípios que regem as ideias de sustentabilidade tiveram como motivação principal crises nos sistemas energéticos, responsáveis por dinamizar a produção de bens e serviços (SCHOLOR *et al.*, 2012). Membratu (1998) salienta que o ápice do progresso da

civilização ocidental ocorreu entre 1750 e 1900, contudo, os impactos negativos da revolução industrial, tais como pobreza, escassez de recursos, disseminação de doenças, dentre outros, só vieram a ter repercussão efetiva na sociedade a partir da década de 1970, período referencial das preocupações humanas com o meio ambiente e com o desenvolvimento sustentável. De fato, a Conferência de Estocolmo, realizada em 1972, é o principal marco do direito internacional ambiental, de modo que as abordagens relacionadas às questões de sustentabilidade são cronologicamente elencadas em três períodos principais: “Atenções voltadas para o impacto das atividades humanas”, contempla os anos de 1800 a 1900; “Ambientalismo Pré-Estocolmo”, de 1900 a 1970; e “Ecologismo Pós-Estocolmo”, de 1970 a 2010 (SOUTO, 2011). O Quadro 1.3 apresenta os principais marcos históricos relacionados à sustentabilidade:

Quadro 1.3 - Marcos históricos relacionados à sustentabilidade

Ano	Marco Histórico
1. Período 1800 – 1900: Atenções voltadas para o impacto das atividades humanas	
1864	Publicação de <i>Man and nature or physical geography as modified by human action</i> .
1867	Convenção entre França e Grã-Bretanha sobre pesca.
1890	Conferência entre Grã-Bretanha, Bélgica, Dinamarca, Alemanha, França, Noruega e Espanha para discutir impactos da pesca excessiva e necessidade de conservação da ictiofauna.
1892	Criação do Sierra Club.
2. Período 1900 – 1970: Ambientalismo Pré-Estocolmo	
1902	Convenção de Paris sobre proteção de aves úteis à agricultura.
1909	Primeira Conferência Internacional sobre Conservação da Natureza. Joanesburgo, África do Sul.
	Congresso Internacional de Proteção à Natureza, Paris (França)
1933	Convenção de Londres sobre conservação da fauna e flora em estado natural na África.
1934	Primeira Conferência Brasileira de Proteção à Natureza, Rio de Janeiro. - Resultante: Código Florestal Brasileiro (Decreto Federal No 23.793/34).
1946	Convenção internacional para regulação da atividade baleeira.
1954	Convenção de Londres sobre prevenção da poluição marinha por hidrocarbonetos.
1948	Fundação da União Internacional para Proteção da Natureza (<i>International Union for Conservation of Nature – IUCN</i>).
1949	Conferência Científica das Nações Unidas sobre conservação e utilização dos recursos naturais. Lake Success, EUA.
1950	Publicação de <i>The social costs of private enterprises</i> . Karl W. Kapp
1956	Realização da Conferência das Nações Unidas sobre o Direito do Mar (UNCLOS).
	- Resultantes: Convenção sobre o Mar Alto de 1962; Convenção sobre o Mar Territorial e Zonas Contíguas e a Convenção sobre Plataforma Continental, ambas de 1964; Convenção sobre Pesca e Conservação dos Recursos Vivos do Alto Mar, de 1966.
1958	Criação da Fundação Brasileira para a Conservação da Natureza (FBCN).
	- Resultante: Boletim Informativo da FBCN, publicado em série a partir de 1966.
1961	Convenção Internacional para proteção de novas variedades vegetais. Bruxelas, Bélgica.
	Protocolo do Rio Mosel (França, Alemanha e Luxemburgo).
1962	Convenção de Paris sobre a Proteção do Patrimônio Mundial, Cultural e Natural.
	Publicação da obra Primavera Silenciosa (<i>Silent Spring</i>) de Rachel Carson: discute efeitos que o uso de agrotóxicos na agricultura provoca na saúde, riscos de câncer e alterações genéticas.
1963	Convenção da Bacia Níger (8 países africanos).
1968	Publicação da obra A Tragédia dos Comuns (<i>The Tragedy of the Commons</i>) de Garrett Hardin: reflete sobre a limitação dos recursos disponíveis à população e necessidade de impor limites individuais, a fim de evitar a miséria humana.
	Fundação do Clube de Roma.

Ano	Marco Histórico
	- Resultantes: Relatório <i>The Limits to growth</i> (ou Relatório Meadows), de 1972; Relatório <i>Mankind at the turning point</i> , de 1974; Relatório <i>The Rio: Reshaping the international order</i> , de 1976; Relatório <i>Goals for mankind</i> , de 1977.
	Conferência Intergovernamental sobre Bases Científicas para Uso e Conservação Racionais dos Recursos da Biosfera. Paris, França.
	Convenção Africana para conservação da natureza e recursos naturais (40 países africanos).
1969	Convenção Internacional sobre responsabilidade civil em danos causados por poluição por óleo. Bruxelas, Bélgica.
	Tratado da Bacia do Prata (Brasil, Argentina, Bolívia, Paraguai e Uruguai).
3. Período 1970 – 2010: Ecologismo Pós-Estocolmo	
3.1. Período 1970 – 1990: Emergência dos paradigmas de desenvolvimento	
1970	Convenção de Benelux sobre caça e proteção de pássaros. Bruxelas, Bélgica.
	Publicação de <i>Population, resources, environments: Issues in Human Ecology</i> , Paul R. Elrich.
	Convenção sobre proteção contra desastres oriundos da poluição por benzeno. Genebra, Suíça.
	Publicação de <i>The closing circle</i> , Barry Commoner.
1971	Publicação de <i>The Entropy Law and the Economic Process</i> , Nicholas Georgescu-Roegen.
	Conferência Internacional sobre Zonas Úmidas e Aves Aquáticas.
	- Resultante: Convenção sobre Zonas Úmidas de Importância Internacional Especialmente como Habitat de Aves Aquáticas, de 1971.
	Publicação do relatório Limites do Crescimento (<i>Limits to Growth</i>): panorama de possibilidades de como o mundo poderia estar até o ano 2100.
1972	Conferência de Estocolmo: marco normativo do direito ambiental internacional , a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente Humano reuniu 114 Estados e órgãos não governamentais. Instituiu a Declaração Universal sobre Proteção e Preservação do Meio Ambiente Humano, Plano de Ação para o Meio Ambiente e uma Resolução sobre aspectos institucionais e financeiros.
	- Resultantes: Declaração das Nações Unidas sobre o Ambiente Humano (ou Carta de Estocolmo), de 1972; Convenção sobre Conservação de Espécies Migratórias de Animais Selvagens, de 1979.
	Conferência Geral das Nações Unidas. Paris, França.
	- Resultantes: Convenção sobre Prevenção da Poluição Marinha por Alijamento de Resíduos e outros Materiais; Convenção para a Proteção do Patrimônio Mundial, Cultural e Natural; ambas de 1972.
	II Conferência Mundial sobre Parques Nacionais (representantes de 90 países): Yellowstone, EUA.
1973	Terceira Conferência das Nações Unidas sobre o Direito do Mar. Nova Iorque, EUA.
	Fundação do <i>Institute for Social Ecology</i> .
1974	Publicação de <i>The implementation of environmental policies</i> , Karl W. Kapp
	Publicação de <i>Environment and styles of development</i> , Ignacy Sachs
	Realização da Conferência das Nações Unidas sobre Comércio e Desenvolvimento. Cocoyok, México.
	Publicação de <i>Strategy for tomorrow</i> , Edward Goldsmith
1975	Publicação de <i>Energy and economic myths</i> , Nicholas Georgescu-Roegen
	Publicação do Relatório Dag-Hammarsköld, PNUMA.
1976	Publicação de <i>Development and environment: towards a new approach to socioeconomic and environmental development</i> , Karl W. Kapp
	Conferência das Nações Unidas sobre os Assentamentos Humanos. Vancouver, Canadá.
	Publicação do <i>Symbiosis between the Earth and Humankind</i> , René Dubos.
1979	Primeira Conferência Mundial sobre o Clima. Genebra, Suíça.
1980	Lançamento da estratégia <i>World conservation strategy: living resources conservation for sustainable development</i> , IUCN.
1983	Formação da Comissão Mundial em Meio Ambiente e Desenvolvimento ou Comissão <i>Brundtland</i> pelo UNEP.
	- Resultante: <i>Our common future</i> (Nosso futuro comum ou Relatório Brundtland), de 1987.
1985	Realização a Conferência de Viena, Áustria.
1987	Relatório de <i>Brundtland (Our Common Future)</i> , Nosso Futuro Comum): definiu conceito de desenvolvimento sustentável e dispõe de recomendações para a política internacional articular ações visando preservar recursos para as gerações futuras.
1989	Proposta da Convenção da Basiléia (Suíça), UNEP.
3.2. Período 1990 – 2000: Implementação das ações para o desenvolvimento sustentável	
1990	Segunda Conferência Mundial sobre o Clima. Genebra (Suíça)
	- Resultantes: Convenção das Nações Unidas em Mudanças Climáticas, de 1992; Protocolo de Kyoto, de 1997.
	Conferência de Bergen (Noruega) em Ação para um Futuro Comum.
1991	Segunda Conferência Mundial da Indústria sobre o Gerenciamento Ambiental. Holanda.
	- Resultante: Carta Empresarial para o Desenvolvimento Sustentável.
	Publicação de <i>Caring for the earth: a strategy for sustainable living</i> , IUCN, WWF e UNEP.
1992	Conferência ECO-92, Rio de Janeiro: A Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento – CNUMD, intitulada Cúpula da Terra .

Ano	Marco Histórico
	- Resultantes: Instrumentos instituídos: Agenda 21, Declaração do Rio de Janeiro sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (mais tarde denominada Carta da Terra); Convenção sobre Diversidade Biológica, de 1992; Convenção para Combate à Desertificação, de 1994.
	Conferência Mundial para os Direitos Humanos, Viena (Áustria)
1993	1993 – Lançamento da certificação ambiental ISO 14000 e fundação do <i>Forest Stewardship Council</i> (FSC) para dispor sobre uso sustentável das florestas.
	Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca.
1994	Conferência Mundial sobre o Desenvolvimento Sustentável dos Pequenos Estados Insulares em Desenvolvimento. Bridgetown, Barbados.
	Conferência Internacional sobre População e Desenvolvimento. Cairo, Egito.
1995	Cúpula Mundial sobre o Desenvolvimento Social. Copenhague, Dinamarca.
1996	Conferência Habitat II. Istambul, Turquia.
1997	Cúpula Mundial sobre o Desenvolvimento Sustentável ou Rio +5. Nova Iorque, EUA.
	Lançamento do <i>Global Reporting Initiative</i> (GRI) para relatar as atividades sustentáveis de empresas.
1998	Lançamento do Ação Global dos Povos. Genebra, Suíça.
3.3. Período 2000 – 2017: Acompanhamento das ações para o desenvolvimento sustentável	
	Publicação de Nós, os povos: o papel das Nações Unidas no século XXI, Kofi Annan.
	Fórum Mundial da Água.
2000	Cúpula do Milênio, Nova Iorque (EUA).
	- Resultantes: Declaração do Milênio, Roteiro de Metas para a Implementação da Declaração do Milênio das Nações Unidas, ambos de 2001.
	Cúpula Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável – CMDs. Joanesburgo, África do Sul.
	- Resultante: Declaração de Doha.
2002	Proposta da Convenção de Estocolmo em Poluentes Orgânicos Persistentes, UNEP.
	Quarta Conferência Ministerial do Comércio. Doha, Qatar.
	Cúpula Mundial sobre o Desenvolvimento Sustentável ou Rio+10. Joanesburgo, África do Sul.
	- Resultante: Declaração de Joanesburgo.
2005	Conferência sobre Biodiversidade. Paris, França.
	Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas. Nairobi, Quênia.
2006	Criação do Fórum Mundial do Turismo para Paz e o Desenvolvimento Sustentável (Brasil).
	Conferência das Partes da Convenção sobre Diversidade Biológica, Brasil
	Conferência sobre Mudanças Climáticas. Bali, Indonésia.
2007	Segunda Conferência Internacional em Mudanças Climáticas e Turismo. Genebra, Suíça.
	Conferência das Partes da Convenção Internacional sobre Combate à Desertificação. Espanha.
2008	Evento de Alto Nível sobre os Objetivos do Desenvolvimento do Milênio. EUA
2009	Terceira Conferência Mundial do Clima. Genebra, Suíça.
	Conferência sobre Mudanças Climáticas (COP15). Copenhague, Dinamarca.
	Cúpula sobre os Objetivos do Milênio, EUA.
2010	Encontro de Alto Nível da Assembleia Geral da ONU em Contribuição ao Ano Internacional da Biodiversidade, EUA.
2012	Conferência Rio+20, Rio de Janeiro: ênfase nos tópicos Economia Verde e Estrutura Institucional para o Desenvolvimento Sustentável. Elaborou o documento O Futuro que queremos.
	Agenda 2030: conjunto de programas, ações e diretrizes rumo ao desenvolvimento sustentável.
2015	Acordo de Paris: tratado que visa orquestrar ações e políticas para propiciar a redução das emissões de gases de efeito estufa, limitando o aquecimento global.
2017	Conferência sobre os oceanos. Nova Iorque, EUA.

Fonte: Nakamura, 2013; Pereira, 2012, Souto, 2011; Autor, 2020.

No Brasil, embora alguns registros vinculados à preocupação ambiental tenham sido evidenciados ainda no século XIX com a extinção do regime de sesmarias (1822) e promulgação da Lei das Terras do Brasil (1850), freando em momento inicial o ritmo de degradação, ao passo que controlavam concessões de terras e imputavam sanções a infratores em casos de danos ambientais (SOUTO, 2011), avanços significativos frente ao desenvolvimento sustentável tiveram suas bases formuladas, de forma mais efetiva, a partir da década de 1980, com a instituição da Política Nacional do Meio Ambiente (Lei 6938/1981).

A Constituição Federal de 1988, confirma a mudança de paradigma quanto à responsabilidade de gestão ambiental e conservação dos recursos naturais (Artigo 225): "Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações". A Constituição fomentou embasamento para importantes leis de preservação e controle de uso dos recursos naturais: Lei dos Crimes Ambientais (Lei 9605/1998), Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei 9433/1997), Código Florestal (Lei 12651/2012), Sistema Nacional de Unidades de Conservação (Lei 9985/2000), Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei 12305/2010), Política Nacional de Saneamento Básico (Lei 11445/2007), Resolução CONAMA 237/1997 (Licenciamento Ambiental), entre outras. Hoje, o Brasil dispõe de legislação ambiental que figura entre as mais avançadas e completas do mundo, fator em contraste com as políticas e práticas de gestão socioambientais vigentes.

1.2 Principais Desafios da Sustentabilidade

A sociedade moderna está vivenciando uma crise socioambiental, sendo seus reflexos materializados sob a forma de fome, pobreza, exclusão social, violência, degradação de ecossistemas, perda de biodiversidade, mudanças climáticas, esgotamento de recursos naturais, dentre outros (PORTO-GONÇALVES, 2012). Em contexto global, as projeções de crescimento da população tendem a agravar esta situação. Atualmente há cerca de 7,7 bilhões de pessoas habitando o planeta, com expectativa de atingir 9,8 bilhões no ano 2050, das quais cerca de 68% devem se concentrar em áreas urbanas (GEO, 2019). À medida que a população cresce, aumentam as pressões sobre os recursos naturais, especialmente por atividades relacionadas à geração de energia, produção de alimentos e expansão de mercados de bens de consumo, tendo como subprodutos altos níveis de poluição e geração de resíduos.

Em 2016, a matriz energética mundial era composta por 81,7% de fontes não renováveis, majoritariamente combustíveis fósseis (REN21, 2018), principais responsáveis pelos elevados níveis de emissão de dióxido de carbono (CO₂), que representam um fator determinante para a chamada mudança climática, evidenciada nas últimas décadas, tendo como uma de suas consequências o aumento do número de desastres com causas ambientais. Estima-se que no período 2005-2014 o impacto dos desastres naturais causou prejuízos de aproximadamente US

\$ 1,4 trilhão, afetou cerca de 1,7 bilhão de pessoas e provocou a morte de 700 mil. Aproximadamente 87% dos desastres naturais têm relação com fatores climáticos (GEO, 2019).

Outro fator agravante das condições atuais é a desigualdade social. Segundo Marques (2016), vivemos o maior nível de desigualdade registrada na história, deflagrada principalmente pela concentração de renda da população mais rica em detrimento dos mais pobres. Ao abordar a Pirâmide Global da Riqueza, Marques (2016) revela que 0,7% da população detém 47% da riqueza mundial e a população mais pobre, 68,7%, dispõe de apenas 3% das riquezas (ano de referência: 2013).

É necessário, ainda, considerar a especiação e extinção de espécies que fazem parte do ciclo natural na biosfera e que se encontram em acelerado ritmo de extinção devido às atividades humanas e decorrentes impactos socioambientais, especialmente a partir da década de 1950. Não obstante, uma série de aspectos devem ser tratados e monitorados com atenção pela comunidade internacional, a fim de mitigar impactos (GEO, 2019):

- A poluição do ar é a maior causa ambiental de doenças, levando a uma estimativa de 6 a 7 milhões de mortes prematuras anualmente;
- Até 2050, a degradação da terra e as mudanças climáticas terão forçado entre 500 e 700 milhões de pessoas a migrar;
- Aproximadamente 33% dos alimentos produzidos globalmente para consumo humano são desperdiçados;
- Cerca de 29% da superfície de terra global está afetada pela degradação, impactando 3,2 bilhões de pessoas;
- A pecuária utiliza cerca de 77% da terra agrícola para a produção de alimentos para animais;
- Cerca de 2,3 bilhões de pessoas não têm acesso a saneamento básico;
- Aproximadamente 1,4 milhão de pessoas morrem anualmente por doenças associadas ao consumo de água contaminada por patógenos;
- O comércio ilegal de vida selvagem, pesca e produtos florestais movimenta entre US \$ 90 bilhões e US \$ 270 bilhões por ano;
- Aproximadamente 71% dos habitats terrestres sofreram redução da vegetação.

Os itens acima elencados configuram, independentemente dos esforços que têm sido empenhados para atenuá-los, graves ameaças ao equilíbrio e sustentabilidade socioambiental. A fim de identificar os principais desafios para a sustentabilidade, Sartori *et al.* analisaram 103 artigos científicos referentes ao tema, tendo identificado 23 itens de maior relevância, apresentados no Quadro 1.4.

Quadro 1.4 - Principais Desafios para a Sustentabilidade

Principais Desafios para a Sustentabilidade			
Implementar normas de proteção ambiental;	Incentivo à educação;	Uso de abordagens holísticas;	Equilíbrio entre os pilares da sustentabilidade;
Capturar os impactos externos das atividades além do nível local;	Desenvolvimento e manutenção de recursos ambientais;	Indicadores para a medição do consumo de recursos;	Indicadores de sustentabilidade dinâmicos;
Reconhecimento da sustentabilidade social;	Eficiência na alocação de recursos;	Sensibilização da população;	Indicadores voltados para os sistemas empresariais e locais;
Desenvolvimento humano;	Cooperação entre <i>stakeholders</i> , governos e sociedade civil;	Usar um padrão de avaliação comparativa entre países;	Participação pública no planejamento;
Erradicação da pobreza;	Metodologias e indicadores de sustentabilidade de acesso público;	Conciliar objetivos locais com os objetivos globais;	Participação da ciência e da tecnologia.
Produção e consumo equilibrado;	Uso de indicadores complementares nas avaliações;	Pesquisas aplicadas que trazem resultados práticos;	

Fonte: Adaptado de Sartori, 2014.

Para Reid *et al.* (2010), a maior parte dos problemas que entravam a sustentabilidade estão correlacionados e requerem o agrupamento de esforços comuns: necessidade de uma coordenação global; relevância para tomadores de decisão; e mecanismos de alavancagem e difusão. Sob os desafios apresentados, se faz necessária uma mudança de paradigma (TRISTÃO, 2004), bem como a adoção de um sistema socioeconômico baseado na racionalidade social, aberta e cooperativa (FREITAS; MARQUES, 2016).

1.3 Dimensões da Sustentabilidade

O aumento crescente das preocupações com as questões ambientais evidenciadas nos tópicos anteriores é, de certa forma, reflexo de evoluções de visões de abordagens metodológicas que regem o tema sustentabilidade. De acordo com a forma de interpretação, as visões de sustentabilidade podem ser condensadas em três grupos: **visão analítica** (princípio de manejo de recursos naturais e identificação das relações causa-efeito), **visão holística** (princípio da precaução diante das incertezas das consequências dos impactos ambientais no sistema) e **visão**

normativa (centrada na definição de objetivos e indicadores com participação social e integração de políticas sustentáveis) (KAMMERBAUER, 2001).

O Quadro 1.5 apresenta as características básicas das visões paradigmáticas de sustentabilidade, visões que por sua vez irão determinar o escopo de dimensões de sustentabilidade mais adequadas para cada sistema a ser avaliado, podendo restringir-se a determinada dimensão (exemplo: econômica) ou ampliando sua abordagem para diversas dimensões (social, ecológica, política-institucional etc.) (SOUTO, 2011).

Quadro 1.5 - Características das visões metodológicas da sustentabilidade

Modelos Analíticos	Modelos Holísticos (Sistêmicos)	Modelos Normativos
Tradição científica das ciências naturais, positivismo e economia neoclássica.	Visão holística da ecologia, política e economia.	Visão multidimensional dos aspectos ecológicos, econômicos e sociais.
Suposição da capacidade racional humana para entender fenômenos naturais em sua totalidade.	Aceitação dos limites da percepção humana sobre a totalidade.	Interpretação heurística das dimensões e clara definição de objetivos.
Atuação: fatores de risco.	Atuação: situação de incerteza.	Atuação: cenários complexos.
Indicadores de causa-estado-efeito-resposta. Ex: Taxa de desmatamento por ano; quantidade e qualidade da água em uma bacia hidrográfica; Número de espécies em extinção.	Indicadores sistêmicos de aspectos fundamentais. Ex: ferramenta pegada ecológica; intensidade do uso de recursos naturais por serviço/produto; índices globais de impactos ambientais.	Indicadores de causa-estado-efeito-resposta e sistêmicos. Ex: modelos analíticos e sistêmicos complexos; integração ponderada de índices.
Prático, apropriado aos sistemas de monitoramento local, regional e global.	Pouco prático, apropriado ao estudo científico.	Prático, apropriado aos afetados e interessados (atores)
Princípio de manejo racional dos recursos naturais e ambientais.	Princípio da precaução no manejo dos recursos naturais e ambientais.	Princípio do consenso acerca de uma maior sustentabilidade em suas dimensões.

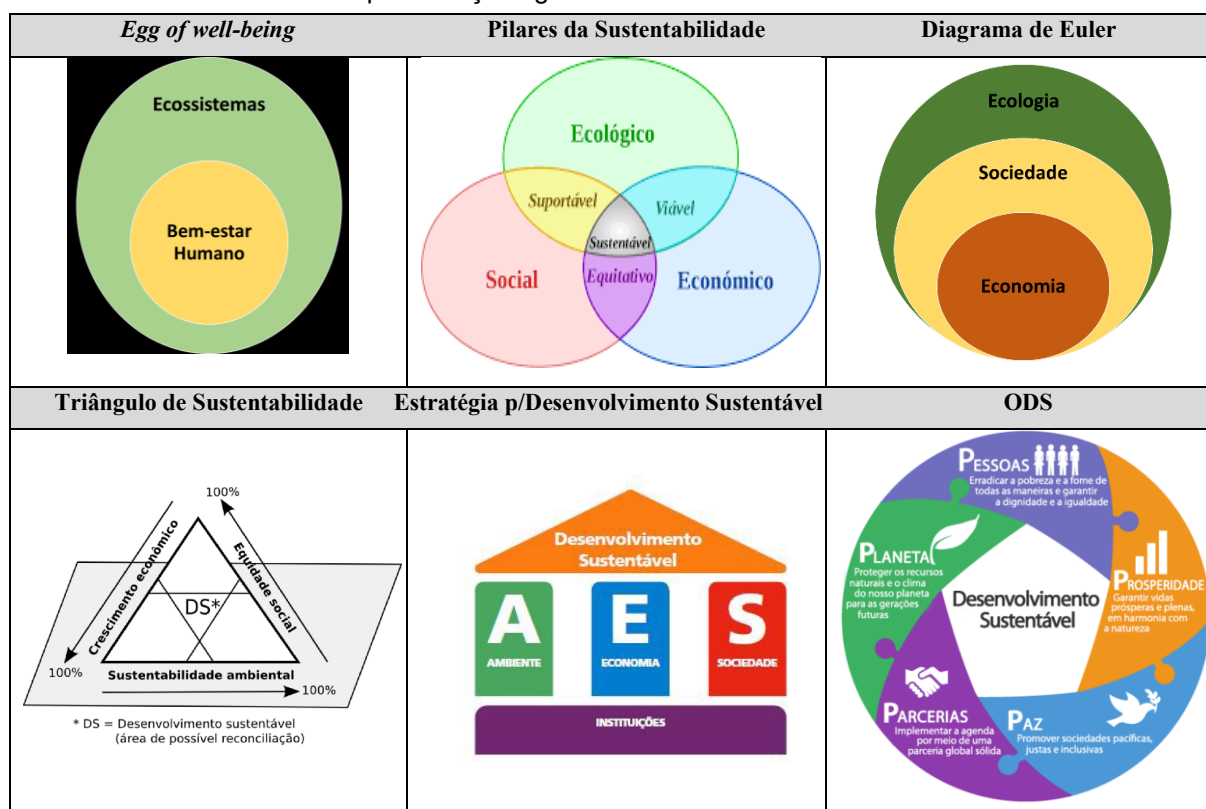
Fonte: Adaptado de Souto, 2011.

O desenvolvimento sustentável deve ser pautado por três objetivos principais: crescimento econômico, sustentabilidade ambiental e equidade social (ELAC, 1997). Para muitos autores, isto implica que a análise da sustentabilidade deve abranger inexoravelmente três dimensões básicas: ambiental, social e econômica (FROEHLICH, 2014). Estas perspectivas de análise constituem o modelo *Triple Bottom Line* (Três Pilares da Sustentabilidade), desenvolvido pelo britânico John Elkington em 1990 (BOFF, 2012), a metodologia apresenta de forma simplificada a interdisciplinaridade do tema e é amplamente utilizada em indicadores de sustentabilidade e ferramentas de gestão socioambiental (LOUETTE, 2009).

As representações visuais mais comuns da sustentabilidade são apresentadas no Quadro 1.6: *Egg of Well-being*, proposta pela IUCN; três pilares da sustentabilidade, proposta por John Elkington; diagrama hierárquico; triângulo de sustentabilidade de Peter Nijkamp; dimensões do desenvolvimento sustentável (União Europeia); ODS (Objetivos do Desenvolvimento

Sustentável) - dimensões de desenvolvimento sustentável. As representações apresentam diferenças significativas, que variam de acordo com a relação de dependência entre as dimensões (GIBSON, 2006; IUCN, 1997; MALONE et al., 2014; ECLAC, 1997; KRAMA, 2008).

Quadro 1.6 - Representações gráficas das dimensões da sustentabilidade



Fonte: Gibson, 2006; IUCN, 1997; Movimento ODS, 2020.

O Marco do Desenvolvimento Sustentável, elaborado em 1996 e revisado no início dos anos 2000 (documento *Indicators of sustainable development: guidelines and methodologies*) pela Comissão de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas – CDS (*United Nations Commission on Sustainable Development – CSD*) da ONU, aborda quatro dimensões da sustentabilidade: ambiental, econômica, social e institucional (QUIROGA, 2005). A dimensão institucional foi implementada com o intuito de identificar diretrizes políticas, capacidade e esforços desempenhados pelo governo e pela sociedade para alcançar melhorias que resultem em desenvolvimento sustentável. Esta dimensão deve ser avaliada sob as perspectivas do arcabouço institucional (existência de estratégia de desenvolvimento sustentável e efetividade de acordos ratificados) e da capacidade de execução/atendimento das entidades correlacionadas

à gestão de aspectos socioeconômicos e ambientais (infraestrutura e acessibilidade, tais como número de assinantes de contas de Internet, proporção de linhas de telefone por habitante, percentual do PIB investido em pesquisa, dentre outros) (VAN BELLEN, 2006).

Em um contexto mais específico, centrado nas questões relacionadas à importância dos recursos hídricos para o desenvolvimento humano, tecnológico e manutenção das reservas naturais, o programa internacional da UNESCO para hidrologia, *International Hydrological Programme* (IHP), desenvolveu uma metodologia denominada HELP, cujo acrônimo remete às dimensões avaliadas: H (*hidrology*, hidrologia), E (*environment*, meio ambiente), L (*life*, social/vida), P (*policy*, política/institucional). Destaca-se a dimensão hidrológica, que tem como objetivo analisar a sustentabilidade dos recursos hídricos nos quesitos qualitativos e quantitativos (UNESCO, 2001, 2005).

Dada a complexidade do tema, alguns autores sugerem incorporar novas dimensões à análise da sustentabilidade, a fim de ampliar o escopo de avaliação e contemplar suas especificidades (FROEHLICH, 2014). Iaquinto (2018) identificou dez dimensões de avaliação:

- **Ambiental ou Ecológica:** visa a preservação do meio ambiente numa concepção coletiva (ANJOS; UBALDO, 2015), buscando assegurar condições de viabilidade das diversas formas de vida no planeta (PÓVOAS, 2015). Compreende que a sobrevivência da espécie humana depende da manutenção e cuidado com os recursos naturais (BOFF, 2012);
- **Econômica:** busca o equilíbrio entre a produção contínua de bens e serviços e a justa distribuição das riquezas (PÓVOAS, 2015), ao passo que refuta condições de miséria e pobreza (FERRER; CRUZ, 2017). Reitera a necessidade de alocação eficiente de recursos, bem como um fluxo regular de investimentos públicos e privados (SACHS, 1993);
- **Social:** objetiva garantir o exercício dos direitos humanos e combater a exclusão social (PÓVOAS, 2015) enquanto procura mecanismos que promovam a qualidade de vida da população, equidade na distribuição de renda e acesso a recursos e serviços (MENDES, 2009);
- **Espacial ou Territorial:** visa uma configuração de equilíbrio entre o território rural e urbano, buscando uma distribuição equilibrada de assentamentos, atividades econômicas e

investimentos públicos. Preza ainda pela redução das diferenças inter-regionais (SACHS, 1993).

- **Cultural:** preza pela cultura de inovação concomitante com necessidade de manutenção e respeito às tradições, capacidade para elaboração de grandes projetos culturais e desenvolvimento de relacionamentos com outros povos e culturas (SACHS, 2002);
- **Política:** no contexto **nacional**, enfatiza o nível de democratização e respeito aos direitos humanos, bem como a capacidade do Estado de implementar projetos, formar parcerias com empreendedores e promover a coesão social; no âmbito **internacional**, está baseada na capacidade de cooperação internacional, garantia da paz, controle institucional do sistema internacional financeiro, aplicação do princípio da precaução na gestão do meio ambiente e gestão do patrimônio social econômico e cultural global, cooperação científica e tecnológica (SACHS, 2002);
- **Jurídico-política:** inserida no contexto constitucional, visa garantir o exercício do direito do cidadão a um meio ambiente equilibrado e prover a eficácia dos direitos fundamentais nas demais dimensões (FREITA, 2012);
- **Ética:** visa estabelecer o relacionamento humanizado entre os cidadãos, promover a solidariedade e cooperação (SOUZA; GARCIA, 2016);
- **Psicológica:** fomenta atitudes de reflexão e conscientização do ser humano quanto às suas potencialidades e limitações, propiciando a constatação da relação homem-meio ambiente (MENDES, 2009);
- **Tecnológica:** confere à ciência e tecnologia o papel de promoção de uma sociedade mais sustentável, estabelecendo novos modelos energéticos baseados em tecnologias limpas, redução da geração de resíduos e recuperação de áreas poluídas (FERRER; CRUZ, 2017), além de dispor mecanismos de difusão de informação e conectividade.

A abordagem do tema sustentabilidade é repleta de contradições, uma vez que alguns autores tendem a dar mais importância a determinada dimensão de avaliação em um sistema de múltiplas dimensões (BORGES, 2015). No caso de pesos atribuídos às questões ambientais e sociais que compõem um sistema tridimensional (ambiental, econômica e social), o aspecto social é considerado duas vezes superior ao ambiental, sendo o econômico superior a ambos, isso se deve ao fato de que algumas variáveis socioambientais são determinadas para expressar

situações relacionadas a impactos e cenários financeiros (por exemplo: danos ambientais provocados por rompimento de barragem de mineração, população vivendo abaixo da linha da miséria, dentre outros). Tomando como exemplo um sistema de quatro dimensões (ambiental, econômica, social e institucional), o peso atribuído à dimensão ambiental é três vezes inferior à tríptica socioeconômica (PRESCOTT-ALLEN, 1999; VAN BELLEN, 2006). A fim de evitar tais discrepâncias, tem-se na literatura geral a atribuição de pesos e importância iguais às dimensões adotadas para avaliar determinado sistema (VAN BELLEN, 2006).

A diversidade de dimensões de sustentabilidade e a ausência de fatores consensuais evidenciam o fato de que o tratamento do tema está bastante atrelado às linhas de formação e/ou trabalho dos pesquisadores e entidades, e que, por envolverem julgamentos de valor, muitas vezes podem implicar em negligenciar fatores alheios em prol de itens de maior relevância pessoal. Este aspecto é ratificado no trabalho de Pereira (2012), onde são apresentadas abordagens de quatro agentes, cada qual definindo de modo diverso o conceito de dimensões coincidentes, além do fato de elencarem dimensões conforme seu âmbito pessoal e/ou profissional: Leonardo Boff (cientista social e filósofo), Ignacy Sachs (economista ambiental), Grupo Arcelor (empresa multinacional) e Hans Michael Van Bellen (pesquisador da área de sustentabilidade). A síntese das principais dimensões identificadas na literatura é apresentada no Quadro 1.7, sendo que as que compõem os **Pilares da Sustentabilidade** foram destacadas por todos os autores consultados.

Quadro 1.7 - Dimensões da sustentabilidade de acordo com alguns autores

Autor(es)	Dimensões da Sustentabilidade Identificadas/Recomendadas
Sachs (1993)	Econômica, Social, Ecológica/Ambiental, Cultural e Espacial.
OECD (1993)	Econômica, Social, Ambiental e Institucional.
Elkington (1997)	Econômica, Social e Ambiental.
Spangerber e Bonniot (1998)	Econômica, Social, Ambiental e Institucional.
ONU – CSD (2000)	Econômica, Social, Ambiental e Institucional
Unesco (2001)	Hidrológica, Ambiental, Social e Política/Institucional
Sachs (2002)	Econômica, Social, Ecológica/Ambiental, Territorial, Cultural, Política Nacional e Política Internacional.
Catalisa (2003)	Econômica, Social, Ambiental, Cultural, Espacial, Política e Ecológica.
Van Bellen (2006)	Econômica, Social, Ambiental, Geográfica e Cultural
Pawlowski (2008)	Econômica, Social, Ambiental, Moral, Legal, Técnica e Política.
Werbach (2010)	Econômica, Social, Ambiental, Cultural.
Grupo Arcelor (2012)	Econômica, Social, Ambiental, Política, Cultural e Espiritual

Fonte: Adaptado de Froehlich, 2014.

As dimensões abordadas pelos diferentes autores e suas respectivas diferenças conceituais evidenciam a natureza, muitas vezes ambígua, de tópicos relacionados à sustentabilidade, apresentando um cenário complexo com múltiplos atores e frentes de interesse incongruentes.

Neste contexto, a dinamicidade e complexidade do campo de estudo relacionado à sustentabilidade favoreceu a difusão de diferentes ideologias ambientais, cunhadas pelo termo **ambientalismo**, no qual se destacam dois eixos antagônicos: **tecnocentrismo** (ênfase no crescimento e desenvolvimento econômico, relativizando impactos socioambientais) e **ecocentrismo** (priorização das relações homem-natureza). A partir destes eixos desdobram-se quatro níveis de sustentabilidade que variam de acordo com a abordagem ideológica e as características básicas que regem suas ações: sustentabilidade muito fraca, sustentabilidade fraca, sustentabilidade forte e sustentabilidade muito forte (PEARCE, 1993).

As diferentes correntes ideológicas e níveis de sustentabilidade indicam tendências ecológicas para as quais determinada comunidade está se movimentando, podendo variar entre as classes ecologia superficial, ecologia adaptativa, ecologia comunalista e ecologia profunda (NAESS, 1996). O Quadro 1.8 apresenta as correlações entre as ideologias, níveis e tipificação ecológica:

Quadro 1.8 - Correlações entre as ideologias, níveis e tipificação ecológica

Classes de Avaliação	Ecologia			
	Superficial	Adaptativa	Comunalista	Profunda
Rótulo Ambiental	Exploração de recursos orientada pelo crescimento econômico.	Conservacionismo dos recursos naturais.	Preservação de recursos naturais.	Preservacionismo ambiental profundo.
Tipos de Economia	Economia de livre mercado.	Economia verde; mercado conduzido por instrumentos de incentivos econômicos.	Economia verde profunda; economia estacionária.	Economia verde muito profunda; forte regulação para minimizar o uso de recursos.
Estratégia de gestão	Maximização do crescimento econômico, considera que o mercado livre e o progresso tecnológico têm potencial para contornar restrições relativas aos limites ambientais e escassez.	Modificação do crescimento econômico, norma do capital constante, mudança de escala.	Crescimento econômico e populacional nulo; perspectiva sistêmica da saúde do ecossistema.	Reduzidas escalas da economia e da população.
Ética	Respeito aos direitos e interesses dos indivíduos; valor instrumental da natureza.	Equidade; Valor instrumental da natureza.	Interesse coletivo sobrepõe o interesse individual; prevalência do valor dos ecossistemas sobre funções e serviços.	Bioética (direitos e interesses conferidos a todas as espécies); valor intrínseco da natureza.
Sustentabilidade	Muito Fraca	Fraca	Forte	Muito Forte
Ideologia				
Tecnocentrismo				Ecocentrismo

Fonte: Adaptado de Pearce, 1993.

1.4 Agenda 21, Objetivos de Desenvolvimento do Milênio e Agenda 2030

- **Agenda 21**

Elaborada na Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CNUMAD), realizada em 1992 no Rio de Janeiro, a Agenda 21 é certamente, sob o contexto específico da sustentabilidade, o marco histórico com resultados mais efetivos. Ela consiste basicamente em um plano de ações que tem como objetivo alcançar o desenvolvimento sustentável. Amplamente discutidas em processos participativos e referendados por organizações das Nações Unidas, sociedade civil e governos, as estratégias e questões prioritárias para a sustentabilidade resultaram em um documento (Agenda 21) constituído por 2.500 recomendações, distribuídas em 115 áreas prioritárias e 40 capítulos (SMA, 1993). O termo agenda se justifica diante do sucesso do programa em propiciar a inserção da proteção ao meio ambiente e desenvolvimento socioeconômico, até então ignorados, no discurso oficial dos governos pelo mundo, que, de forma mais efusiva, passaram a estabelecer diretrizes, objetivos e metas vinculados a calendários oficiais para alcançar o desenvolvimento sustentável (BRÜSEKE, 1996).

A Agenda 21 pode ser adotada por entidades e governos em diferentes níveis, podendo ser Global (foco no desenvolvimento de ações em grande escala, com resultados e repercussão internacional) ou Local (foco em ações locais, normalmente adotada por municípios), sendo que os responsáveis pela adoção da Agenda estão incumbidos da missão de implementá-la conforme as prerrogativas do documento oficial. Contudo, não há rigidez estrita, de modo que as ações e cronogramas dispõem de certa flexibilidade para ajustar-se às restrições e potencialidades técnicas e administrativas da respectiva entidade.

Orientada pelo capítulo 40 da Agenda 21, em 1995 a Comissão de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas (CDS) se propôs a construir um sistema de indicadores com capacidade para mensurar o nível de desenvolvimento sustentável. Em um período de cinco anos (1995-2000), foram concentrados esforços de organizações vinculadas às Nações Unidas, governamentais e não-governamentais, a fim de desenvolver metodologias capazes de fomentar indicadores de sustentabilidade que pudessem auxiliar em diagnósticos socioambientais e processo de tomada de decisão (MALHEIROS *et al.*, 2008). Os trabalhos foram desenvolvidos em três etapas:

- **Primeira Fase (1995-1996):** discussão e ampla participação da sociedade no desenvolvimento de fichas metodológicas, tendo por referência o modelo Força Motriz-Estado-Resposta (*driving-force-state-response*), que por sua vez busca estabelecer relação lógica entre o atual estado do meio ambiente e as variáveis que exercem pressão sobre os recursos naturais, bem como as respectivas ações (respostas) implementadas com o intuito de evitar e mitigar danos ambientais. Ao fim desta etapa foi publicado o documento *Blue Book*, lista composta por 134 indicadores, referência para experiências e testes.
- **Segunda Fase (1996-1998):** capacitação e treinamento para o uso dos indicadores e sua adequação às realidades e prioridades dos países participantes. Esta etapa buscou envolver diversos setores da sociedade civil, entidades governamentais e não governamentais, representantes do setor privado e universidades. Brasil, China, Áustria e Bélgica efetuaram testes apenas no âmbito ministerial, fator que pode ter limitado o desenvolvimento de indicadores nos respectivos países.
- **Terceira Fase (1998-2000):** testes, avaliação e validação do conjunto dos indicadores. A partir das experiências relatadas pelos países, indicadores foram removidos e/ou adaptados. Por fim, um grupo de especialistas ficou responsável por elaborar um documento de referência denominado *Indicators of sustainable development: guidelines and methodologies* (Indicadores de desenvolvimento sustentável: diretrizes e metodologias), composto por 57 indicadores (organizados em 15 temas e 38 subtemas) distribuídos em quatro dimensões de sustentabilidade (ambiental, social, econômica e institucional) (UNITED NATIONS, 2001).

Quanto à gestão e preocupação com os recursos hídricos, o Capítulo 18 da Agenda 21 traz um conjunto de programas dedicados ao tema (Quadro 1.9):

Quadro 1.9 – Conjunto de programas listados no Capítulo 18 da Agenda 21

Programas	Objetivos e Diretrizes
Desenvolvimento e gerenciamento integrado dos recursos hídricos	Satisfazer as demandas hídricas, em contexto de desenvolvimento sustentável. Promover a gestão integrada dos recursos hídricos como parte dos ecossistemas, bem-estar social e econômico, cuja quantidade e qualidade condicionam a sua utilização.
Avaliação dos recursos hídricos	Avaliar e prognosticar a quantidade e qualidade dos recursos hídricos, estudar alternativas de abastecimento, determinar as condições de qualidade, prever conflitos eventuais, proporcionar base científica de dados para a sua utilização racional.
Proteção dos recursos hídricos da qualidade da água e dos ecossistemas aquáticos	Manter a integridade dos ecossistemas e protegê-los da degradação. Proteger a saúde pública, assegurar água potável livre de elementos patogênicos e combater os vetores de enfermidades no meio aquático.
Abastecimento de água e saneamento ambiental	Proteção do meio ambiente e da saúde mediante a gestão integrada dos recursos de água e dos despejos líquidos e sólidos.
Recursos hídricos e o desenvolvimento ambiental	Gestão ambientalmente racional dos recursos hídricos destinados à utilização urbana com identificação e aplicação de estratégias e medidas que permitam o abastecimento de água, a um preço acessível, para as necessidades atuais e futuras.
Recursos hídricos para a produção de alimentos e para o desenvolvimento rural sustentável	A água deve ser considerada um recurso finito e com valor econômico. As comunidades locais devem participar da gestão da água, em especial as mulheres, em razão de suas atividades cotidianas. A gestão deve considerar políticas de: I) saúde humana; II) produção, conservação e distribuição de alimentos; III) planos de atenuação dos desastres naturais; IV) proteção e conservação dos recursos naturais.
Repercussões das mudanças climáticas nos recursos hídricos	Aprofundamento das informações disponíveis.

Fonte: Adaptado de Maranhão, 2007.

A Agenda 21 foi um instrumento de grande valia para viabilizar ações e políticas necessárias para que governos e entidades adotassem modelos de desenvolvimento mais sustentáveis. Ao permear diferentes setores da sociedade, o documento tornou-se a principal referência de princípios, diretrizes, objetivos e metas rumo ao desenvolvimento sustentável. Revisada e ajustada periodicamente, a Agenda propiciou avanços significativos, destacando-se, entre outros, a adoção de uma agenda complementar, denominada *Millennium Development Goals* (Objetivos de Desenvolvimento do Milênio).

- **Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM)**

Aprovado em 2001 na 56ª Sessão da Assembleia Geral da Nações Unidas, os Objetivos do Desenvolvimento do Milênio (ODM) estão registrados no documento *Road Map towards the implementation of the United Nations Millennium Declaration* (Roteiro para a implementação da Declaração do Milênio das Nações Unidas), resultante de trabalhos realizados na Cúpula do Milênio da ONU no ano anterior. Os ODM são reconhecidos como um dos mais bem-sucedidos esforços para combater a pobreza em toda a história da humanidade (ONU, 2013). A equipe responsável por desenvolver e selecionar os objetivos, indicadores e metas que compõem os ODM procurou se certificar de que eles atendessem aos seguintes requisitos: mensuráveis, realistas, acordados entre as partes, flexíveis e delimitados no tempo (BARCELLOS & CARVALHO, 2014).

Oficialmente, 189 países e 23 organizações internacionais comprometeram-se com os oito objetivos que compõem os ODM, eles estão subdivididos em 21 metas e 60 indicadores. Os ODM foram estabelecidos com a prioridade de eliminar a extrema pobreza (referência: US\$ 1,25/pessoa/dia) e a fome no mundo até o ano de 2015 (RAVILLION *et al.*, 2008; BARCELLOS & CARVALHO, 2014). A grande adesão e aplicação dos ODM propiciou avanços significativos para a redução da pobreza e promoção da sustentabilidade (Quadro 1.10), contudo, os objetivos estabelecidos não foram alcançados de forma efetiva: a desigualdade de gênero persiste, há disparidade social entre ricos e pobres, conflitos continuam a ameaçar o desenvolvimento humano, a degradação ambiental e as mudanças climáticas têm prejudicado os progressos registrados, os mais pobres são mais expostos aos riscos e mazelas socioambientais, milhões de pessoas ainda se encontram em nível de extrema pobreza e sem acesso a serviços estruturais básicos e saneamento (ONU, 2015).

Quadro 1.10 - ODM – Resultados Consolidados

Objetivo - ODM	Resultados Obtidos
1- Erradicar a pobreza extrema e a fome	A pobreza extrema diminuiu de forma significativa nas últimas duas décadas. Em 1990, quase metade da população no mundo em desenvolvimento vivia com menos de 1,25 USD por dia. Em 2015, essa proporção desceu para 14%.
	Globalmente, o número de pessoas que vive em pobreza extrema desceu para mais da metade, diminuindo de 1,9 bilhão, em 1990, para 836 milhões em 2015.
2- Alcançar a educação primária universal	A taxa de matrícula líquida no ensino primário nas regiões em desenvolvimento chegou aos 91% em 2015, em comparação com os 83% no ano 2000.
	O número de crianças não escolarizadas com idade para frequentar o ensino primário a nível mundial diminuiu quase para a metade, para cerca de 57 milhões em 2015, comparados aos 100 milhões em 2000.
	A taxa de alfabetização entre os jovens com 15 a 24 anos aumentou globalmente, de 83% para 91% entre 1990 e 2015. A disparidade entre mulheres e homens diminuiu.
3- Promover a igualdade de gênero e capacitar as mulheres	Mais meninas frequentam agora a escola. Algumas regiões em vias de desenvolvimento alcançaram a meta de eliminar a disparidade entre gêneros no ensino primário, secundário e superior.
	As mulheres constituem atualmente 41% dos trabalhadores remunerados fora do setor agrícola, um aumento em relação aos 35% de 1990.
	Entre 1991 e 2015, a proporção de mulheres com empregos vulneráveis como parcela do emprego feminino total diminuiu 13%. O emprego vulnerável entre os homens caiu 9%.
	As mulheres ganharam terreno na representação parlamentar em quase 90% dos 174 países com dados para os últimos 20 anos. A proporção média de mulheres no parlamento quase duplicou durante o mesmo período. No entanto, apenas um em cada cinco deputados é mulher.
4- Reduzir a mortalidade infantil	A taxa de mortalidade global abaixo dos cinco anos diminuiu em mais da metade, caindo de 90 para 43 mortes por 1000 nascidos vivos entre 1990 e 2015.
	O número de mortes de crianças com menos de cinco anos diminuiu de 12,7 milhões em 1990 para quase 6 milhões em 2015.
	Desde a década de 1990, a taxa de redução da mortalidade abaixo dos cinco anos mais do que triplicou.
	Cerca de 84% das crianças em todo o mundo receberam pelo menos uma dose da vacina contra o sarampo em 2013, um aumento de 73% em relação ao ano 2000.
5- Melhorar a saúde materna	Desde 1990, a taxa de mortalidade materna diminuiu em 45%.
	Em 2014, mais de 71% dos partos a nível mundial foram assistidos por pessoal de saúde qualificado, aumento de 59% em relação a 1990.
	A prevalência de contraceptivos entre as mulheres com idade entre 15 e 49 anos, casadas ou em união de estável, aumentou em de 55% em 1990 para 64% em 2015.
6- Combater o HIV, a malária e outras doenças	Novas infecções por HIV diminuíram em cerca de 40% entre 2000 e 2013, de cerca de 3,5 milhões de casos para 2,1 milhões.
	Em junho de 2014, 13,6 milhões de pessoas que viviam com HIV recebiam terapia antirretroviral (TAR). A TAR evitou 7,6 milhões de mortes por HIV entre 1995 e 2013.
	Mais de 6,2 milhões de mortes por malária foram evitadas entre 2000 e 2015. A taxa de incidência da malária diminuiu cerca de 37% e a taxa de mortalidade em 58%.
	Entre 2000 e 2013, a prevenção, o diagnóstico e as intervenções de tratamento para a tuberculose salvaram cerca de 37 milhões de vidas. A taxa de mortalidade devido a tuberculose caiu 45% e a taxa de prevalência diminuiu 41% entre 1990 e 2013.
7- Assegurar a sustentabilidade ambiental	As substâncias que reduzem o ozônio foram virtualmente eliminadas desde 1990 e espera-se que a camada de ozônio recupere até meados deste século.
	Dos 2,6 bilhões de pessoas que obtiveram acesso à água potável melhorada desde 1990, 1,9 bilhões obtiveram acesso à água potável canalizada no local. Mais de metade da população mundial (58%) desfruta agora deste nível mais elevado de serviço.
	147 países alcançaram a meta da água potável, 95 países alcançaram a meta do saneamento e 77 países alcançaram ambas.
	2,1 bilhões de pessoas obtiveram acesso a saneamento melhorado. A proporção de pessoas que recorre à defecção ao ar livre caiu para quase metade desde 1990.
	A proporção da população urbana que vive em favelas nos países em desenvolvimento caiu de cerca de 39,4% em 2000 para 29,7% em 2014.
8- Desenvolver uma parceria global para o desenvolvimento	A ajuda pública ao desenvolvimento dos países desenvolvidos aumentou em 66% em termos reais entre 2000 e 2014, chegando a US\$ 135,2 bilhões.
	Em 2014, 79% das importações dos países em desenvolvimento para os países desenvolvidos foram isentos de impostos aduaneiros.
	A proporção do serviço da dívida externa em relação às receitas das exportações nos países em desenvolvimento caiu de cerca de 12% em 2000 para 3% em 2013.
	Em 2015, 95% da população mundial estava abrangida por um sinal de rede de celular.
	O número de assinaturas de celular cresceu quase dez vezes nos últimos 15 anos, de 738 milhões em 2000 para mais de 7 bilhões em 2015.
	O acesso à Internet cresceu de 6% da população mundial em 2000 para 43% em 2015. Assim, 3,2 bilhões de pessoas estão agora ligadas a uma rede global de conteúdos e aplicações

Fonte: Adaptado de ONU, 2015.

- **Agenda 2030**

Visando ampliar o escopo e preencher as lacunas metodológicas dos ODM e fim de vigência do mesmo (2015), a partir da Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável (Rio+20), realizada em 2012, a publicação do documento "O Futuro que Queremos", referenciou as bases para as discussões na ONU objetivando construir coletivamente um novo conjunto de indicadores com capacidade para mensurar e fomentar caminhos para o desenvolvimento sustentável (período pós-2015). Após negociações, em 2015, 193 países referendaram o documento denominado Agenda 2030 (Transformando Nosso Mundo: Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável), que contempla os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). A vigência do plano teve início no dia 01/01/2016 e tem final previsto para 31/12/2030.

De maneira similar ao que está determinado nos ODM, os ODS também reconhecem a erradicação da pobreza como grande desafio e requisito para atingir o desenvolvimento sustentável, mas vai além, inserindo elementos que abordam o caráter sistêmico dos problemas, buscando identificar e fomentar fontes de financiamento para o desenvolvimento, dispor mecanismos de transferência de tecnologia, conhecimento e propiciar comércio internacional justo (ROMA, 2019).

Os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) (Figura 1.2), 169 metas e 232 indicadores (que podem ser selecionados de acordo com a realidade local/regional/nacional) são monitorados por programas internacionais das Nações Unidas (PNUD – Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento e PNUMA – Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente) e diversas entidades governamentais e não-governamentais por meio de estatísticas e relatórios anuais.

No Brasil, a Agenda 2030 é regulamentada pelo Decreto Nº 8.892/2016, que define diretrizes e cria a Comissão Nacional para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, entidade paritária composta por 32 representantes. A evolução dos indicadores utilizados no cenário nacional pode ser acompanhada no Portal ODS (www.portalods.org.br). Considerando a recente promulgação e o respectivo período de vigência da Agenda 2030, torna-se complexo avaliar possíveis resultados e relações causa-efeito do programa em tão curto prazo, ao passo

que os resultados dos relatórios anuais envolvendo os ODS não são objeto de discussão neste trabalho.

Figura 1.2 - Objetivos de Desenvolvimento do Milênio



Fonte: Unicef, 2019.

2. INDICADORES E ÍNDICES DE SUSTENTABILIDADE

A sustentabilidade pode ser medida por meio de indicadores/índices, potencializando processos de tomada de decisão de entidades de gestão ambiental (CNUMAD, 1992), auxiliando na elaboração de políticas públicas e simplificando estudos (MILANEZ & TEIXEIRA, 2003). Indicadores de sustentabilidade têm, dentre outras prerrogativas, a capacidade de elucidar o atual estágio de conservação do meio ambiente, ao passo que evidenciam lacunas a serem preenchidas para atingir uma condição de desenvolvimento sustentável (MARANHÃO, 2007).

Com origem no Latim *indicare*, o termo indicador significa descobrir, apontar, estimar (Hammond *et al.*, 1995). De acordo com Mitchell (1996), indicador é uma ferramenta que permite abstrair informações sobre determinado objeto, serviço ou cenário. Para a *European Enviroment Agency* (2005), indicador é uma forma de medir (de modo quantitativo), permitindo esboçar cenários e comunicar o estado de fenômenos ou objetos complexos de modo simplificado, ao passo que explicita a evolução dos mesmos ao longo do tempo. Maranhão (2007) define indicador como uma ferramenta de mensuração e avaliação (quantitativa ou qualitativa) de políticas ou resultados que fornece informações qualificadas para tomadores de decisão fazerem intervenções corretivas e identificar impactos de ações e/ou programas. Os indicadores são elaborados com o intuito de possibilitar a alteração de resultados de determinado processo/evento (COBB & RIXFORD, 1998), constituídos de informações relevantes, eles têm capacidade de sinalizar o estado atual e tendências de objetos/fenômenos, a ponto de serem comparados a bússolas, no sentido em que orientam rotas a serem percorridas para alcançar os objetivos e metas almejadas (HART, 1999).

Alguns autores ponderam que indicadores também podem ser entendidos como variáveis (GALLOPIN, 1996), variável que por sua vez é a representação de um atributo/propriedade de um sistema (VAN BELLEN, 2006), de forma que os termos indicador e variável podem ser tratados como sinônimos sem prejuízo lógico (interpretação adotada nesta pesquisa).

Para Souto (2011) e Van Bellen (2002) os indicadores podem ser classificados quanto à:

- **Função:** indicadores **descritivos**, descrevem medidas que representam as características do objeto/fenômeno em estudo (exemplo: taxa de mortalidade infantil), utilizam referenciais técnicos; indicadores de **performance**, foco na avaliação de mudanças do objeto em estudo

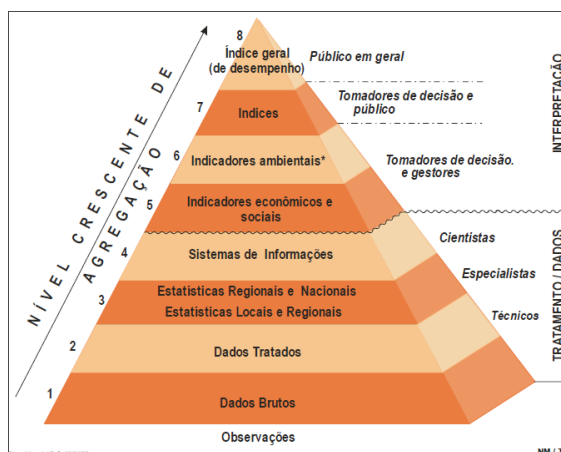
ao longo do tempo, incorporam indicadores descritivos e estão alinhados a objetivos específicos (exemplo: variação da taxa de mortalidade infantil entre o ano 1990 e 2000);

- **Natureza:** quantitativos ou qualitativos (recomendáveis apenas em casos onde não estejam disponíveis dados quantitativos, quando a característica avaliada não é quantificável ou o custo de obtenção apresente grande disparidade);
- **Abrangência geográfica:** local, regional, nacional ou global.

O termo índice refere-se ao valor agregado de um conjunto de indicadores, sintetizado em um resultado numérico, normalmente obtido por cálculos e relações lógicas, permitindo assim uma interpretação precisa da realidade e suporte para previsões e tomadas de decisão (SICHE *et. al*, 2007). Khanna (2000) define índice como um indicador de alta categoria, representado pelo nível superior de agregação de indicadores ou variáveis. Indicador sintético é outra concepção frequentemente delineada para representar o termo índice (SCANAR NETO, 2006).

A pirâmide da informação (Figura 2.1) apresenta o processo de agregação de dados, que após sucessivas manipulações de técnicos/especialistas, são transformados em índices. Quanto mais distante da base da pirâmide, maior a facilidade de interpretação do cenário e mais sintética a informação, facilitando o processo de tomada de decisão. Em geral, os indicadores são resultados do processamento de dados primários por meio de funções complexas (RIGBY *et al.*, 2000), enquanto os índices são produtos da aplicação de funções mais simplificadas sobre variáveis pré-processadas (indicadores), ao passo que a principal diferença entre eles reside na complexidade das funções aplicadas para a obtenção dos resultados (GALLOPIN, 1997).

Figura 2.1 - Pirâmide da Informação de indicadores e índices



Fonte: Adaptado de Maranhão, 2007; Ott, 1978.

As vantagens e desvantagens comuns ao uso de índices e indicadores são apresentadas no Quadro 2.1:

Quadro 2.1 - Vantagens e desvantagens de indicadores e índices

Vantagens	Desvantagens
Resultados simples e objetivos para o público.	Dificuldade de agregação e combinação lógica de indicadores.
Representam de forma sintética valores intrínsecos da realidade local.	Quando mal formulados, podem induzir à adoção de políticas públicas equivocadas.
Fornecem informações de apoio aos processos de tomadas de decisão.	Dificuldades de definição lógica e matemática com capacidade para traduzir os valores de parâmetros e variáveis.
Identificam comportamentos e tendências.	Risco de utilizar informações imprecisas.
Permitem comparação com resultados de outras áreas e definição de metas/objetivos.	Critérios de seleção de indicadores subjetivos.

Fonte: Adaptado de DGA, 2000.

Para Laura (2004), há três etapas cruciais para o sucesso na aplicação de indicadores: escolha de variáveis, seleção de técnicas de mensuração dos dados e escolha da metodologia de agrupamento de informações. Estas etapas encontram-se delineadas no trabalho de Konen *et al.* (2007), que recomenda que o processo de desenvolvimento e aplicação de indicadores contemple nove passos:

1. Preparação: iniciativa de desenvolver indicadores e estabelecer cronograma;
2. Formação de um grupo de trabalho para orientar o processo de desenvolvimento até a conclusão;
3. Definição dos objetivos a serem atendidos pelo conjunto de indicadores frente à sustentabilidade;
4. Identificação de valores e visão junto à comunidade;
5. Escolha de indicadores: pesquisa e revisão de conjuntos de indicadores utilizados em comunidades com características similares, identificação de indicadores específicos que retratem as peculiaridades da realidade local;
6. Definição do conjunto de indicadores aplicável aos objetivos propostos;
7. Exploração e análise dos dados;
8. Publicação e promoção dos indicadores;
9. Atualização regular da metodologia e geração de relatórios periódicos.

Conforme descrito anteriormente, índices e indicadores têm, dentre outras propriedades, a capacidade de mensurar o nível de sustentabilidade de determinado sistema (VAN BELLEN, 2006), contudo, trabalhos com índices e indicadores ambientais encontram-se em um estágio incipiente e as diversas metodologias e técnicas aplicáveis carregam elevado teor de subjetividade. Outro fator preponderante é a dificuldade em definir conceitos chave para classificação precisa de objetos/fenômenos quanto à sua sustentabilidade (SICHE *et al.*, 2007). Em termos gerais, índices e indicadores têm caráter personalizado para atender às finalidades e objetivos para os quais foram desenvolvidos, reduzindo muitas vezes a replicabilidade dos mesmos em outras regiões e/ou contextos (SIMONOVIC, 2000). Sob este aspecto, Coelho (2008) faz algumas considerações referentes a modelos de sistemas de indicadores:

- a) Não existe modelo completo de um sistema de indicadores, cada modelo expressa diferentes perspectivas e objetivos;
- b) Modelos representam uma simplificação de uma realidade complexa, de forma que as nuances do cenário abordado nunca são contempladas de forma universal, requerendo melhorias contínuas;
- c) Um modelo deve ser avaliado de acordo com sua capacidade em atingir os objetivos e metas definidos pelo pesquisador.

2.1 Princípios e Critérios Para Construção e Seleção de Indicadores

Boa parte da dificuldade nos processos de avaliação que utilizam índices e indicadores está centrada na escolha e interpretação das séries de dados que serão medidos e suas respectivas influências no sistema sob análise. A interpretação pode ser impactada pela metodologia adotada e, considerando que o resultado final da avaliação depende diretamente das variáveis de mensuração selecionadas, imprecisões e escolhas equivocadas podem comprometer as análises dos tomadores de decisão. Dentre as limitações metodológicas frequentes podemos citar: ausência, disponibilidade irregular e/ou baixa qualidade de dados; uso de técnicas analíticas inadequadas; comparação de dados de diferentes dimensões de análise (ex.: comparação de indicador ecológico/ambiental com indicador político/institucional); limitação de recursos humanos, financeiros e tempo para execução do projeto (JESINGHAUS, 1999).

Quanto ao processo de escolha de indicadores de sustentabilidade, este deve considerar uma abordagem sistêmica e contemplar ao menos quatro etapas sequenciais: 1) compreensão conceitual do sistema sob análise e seus componentes; 2) identificação dos indicadores mais representativos e impactantes no sistema; 3) avaliação da performance dos indicadores; 4) fomento de um processo participativo, propiciando a escolha de indicadores compreensíveis para diferentes segmentos sociais (BOSSSEL, 1999).

A fim de definir aspectos gerais e princípios a serem observados na seleção de indicadores de desenvolvimento sustentável e formulação de metodologias de avaliação, em 1996 um grupo de especialistas em sustentabilidade de diversas partes do mundo se reuniu na cidade de Bellagio, Itália, resultando na publicação do documento *Princípios de Bellagio*. Em 2009 os dez princípios originais foram readequados, dando origem aos *Princípios de Avaliação e Mensuração da Sustentabilidade de Bellagio*, composto por oito itens, conforme apresentado no Quadro 2.2 (PINTÉR *et al.*, 2012):

Quadro 2.2 - Princípios de Bellagio, Revisado (2009)

Princípios de Bellagio
Princípio 1: Visão orientadora A avaliação do progresso em direção ao desenvolvimento sustentável será guiada pelo objetivo de oferecer bem-estar, respeitando a capacidade da biosfera em sustentá-lo para as gerações futuras. Princípio 2: Considerações essenciais A avaliação em direção ao desenvolvimento sustentável levará em consideração: • Os sistemas social, econômico e ambiental como um todo e as interações entre seus componentes, incluindo questões relacionadas com a governança; • Dinâmica e interações entre as tendências atuais e <i>drivers</i> de mudança; • Riscos, incertezas e atividades que possam ter um impacto além de fronteiras; • Implicações para a tomada de decisão, incluindo <i>trade-offs</i> e sinergias. Princípio 3: Escopo Adequado A avaliação em direção ao desenvolvimento sustentável adotará: • Um horizonte de tempo adequado para capturar efeitos de curto e longo prazo das decisões políticas e atividades antrópicas atuais; • Um escopo geográfico apropriado. Princípio 4: Estrutura e indicadores Avaliação do progresso em direção ao desenvolvimento sustentável será baseada em: • Um quadro conceitual dos indicadores fundamentais para avaliar o progresso; • Métodos de medição padronizados quando possível, a fim de permitir comparabilidade; • A comparação dos resultados dos indicadores com metas, quando possível. Princípio 5: Transparência A avaliação dos progressos em direção ao desenvolvimento sustentável irá: • Garantir que os dados, indicadores e resultados da avaliação são acessíveis ao público; • Explicar as escolhas, suposições e incertezas que determinam os resultados da avaliação; • Divulgar as fontes de dados e métodos; • Declarar todas as fontes de financiamento e potenciais conflitos de interesse. Princípio 6: Comunicação Efetiva No interesse de uma comunicação eficaz, a avaliação do progresso em direção ao desenvolvimento sustentável irá:

Princípios de Bellagio
• Utilizar linguagem clara e simples; • Apresentar informações de forma justa e objetiva, de forma a contribuir para a construção da confiança no grupo; • Usar ferramentas visuais e gráficas inovadoras, visando facilitar a interpretação e o relato do caso; • Tornar os dados disponíveis em tantos detalhes quanto forem confiáveis e viáveis.
Princípio 7: Ampla Participação Para reforçar a sua legitimidade e relevância, a avaliação do progresso rumo ao desenvolvimento sustentável deverá: • Encontrar formas adequadas para incluir as opiniões recebidas na participação pública, oferecendo liderança ativa; • Envolver desde o início os usuários da avaliação, a fim de que ela se adapte o melhor possível às suas necessidades.
Princípio 8: Continuidade e capacidade Avaliação do progresso em direção ao desenvolvimento sustentável exigirá: • Mensurações sucessivas/repetidas; • Capacidade de resposta à mudança; • Investimentos para desenvolver e manter a capacidade adequada; • Aprendizagem e melhoria contínua.

Fonte: Adaptado de Duarte, 2013.

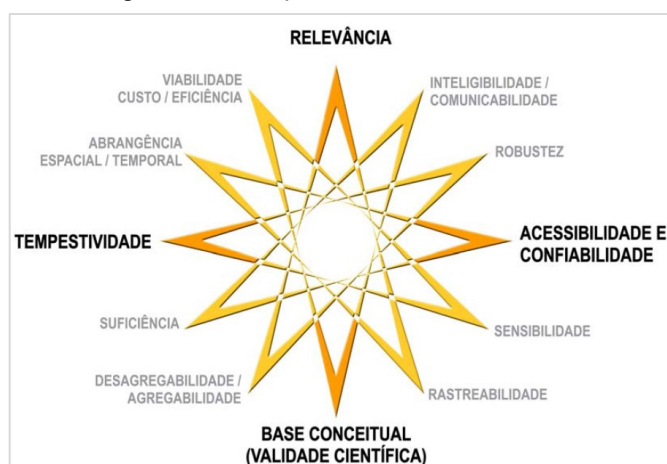
A amplitude e complexidade do tema, em geral, faz com que diferentes autores determinem diferentes requisitos mínimos para a seleção e construção de indicadores a fim de atender objetivos específicos. Maranhão (2007) apresenta uma síntese com as características básicas a serem contempladas pelos indicadores selecionados (Hart, 1999; Magalhães Jr. *et al.*, 2003):

- a) **Relevância:** a escolha de um indicador deve considerar a importância que as informações obtidas terão para a comunidade envolvida e sua capacidade de trazer à luz questões importantes que permitam identificar a essência dos problemas que devem ser tratados ou controlados.
- b) **Base conceitual e validade científica:** um indicador deve ser concebido sob um modelo conceitual com aceitação e validação científica, a metodologia deve ser bem caracterizada, a fim de permitir a compreensão e replicação dos resultados.
- c) **Acessibilidade e Confiabilidade dos Dados:** os dados que compõem um indicador devem ser de fácil obtenção, disponibilidade e cerceada, sempre que possível, de respaldo de entidades de reconhecida qualidade de dados.
- d) **Tempestividade:** um indicador deve ser capaz de fornecer informações de modo oportuno, de modo a respeitar o tempo disponível para julgamento e tomada de decisão nos processos/cenários sob avaliação.
- e) **Sensibilidade:** o indicador deve ser capaz de identificar mudanças na realidade medida, detectando variações decorrentes de pressões ou respostas de modo objetivo e sem ambiguidades.

- f) **Agregabilidade e Desagregabilidade:** um indicador deve ser flexível, permitindo agrupamento ou reagrupamento dos dados que o originaram.
- g) **Viabilidade/Custo-Efetividade:** o indicador deve considerar os custos de sua respectiva obtenção e os níveis de significância dos resultados, buscando evitar processos com longo período de execução que apresentem resultados com baixa precisão.
- h) **Robustez:** um indicador deve se pautar de estimadores, estatísticos ou não, com capacidade de fornecer valores confiáveis e úteis aos interessados, evitando inferências e interpretações contraditória de resultados.
- i) **Abrangência Espacial e Temporal:** um indicador deve abranger a cobertura espacial ocupada pela população avaliada e período de tempo suficiente para analisar possíveis alterações dos cenários de interesse.
- j) **Inteligibilidade/comunicabilidade:** indicadores devem ser de fácil compreensão, inteligíveis, tanto para especialistas quanto para os demais atores envolvidos no processo.
- k) **Suficiência:** o indicador deve deter capacidade para encerrar e traduzir todas as informações referentes ao tema que representa.
- l) **Rastreabilidade:** dados obtidos devem ser registrados e rastreáveis em todas as etapas do processo, permitindo a verificação e origem dos dados a qualquer momento.

Para Maranhão (2007) um indicador deve apresentar ao menos quatro características dentre as acima descritas: relevância, tempestividade, acessibilidade e confiabilidade, base conceitual (Figura 2.2). Mueller *et al.* (1997) sintetizam as exigências mínimas de um bom indicador, que deve ser simples de entender, quantificável, de fácil aplicação e comunicar de forma eficiente o estado do objeto/fenômeno em estudo.

Figura 2.2 - Propriedades de indicadores



Fonte: Maranhão, 2007.

2.2 Função Valor dos Indicadores

Para Martinez Alier (1995), a dificuldade em mensurar a sustentabilidade tem relação direta com as diferentes unidades dos indicadores selecionados, que frequentemente encontram-se referenciados em variadas escalas de valores. Desta forma, se faz necessário dispor de mecanismos que visem homogeneizar unidades de medida discrepantes, a fim de permitir que as variáveis se tornem comparáveis e forneçam análises coerentes à realidade. Não há consenso na literatura quanto à adoção de uma metodologia específica de padronização e normalização de indicadores de sustentabilidade para transformação numérica de diferentes unidades e escalas em unidade e escala comuns. Diante do problema, aplica-se o conceito da função de valor, ferramenta criada para transformar performances de ações em valores numéricos, padronizar e homogeneizar unidades e escalas (LAURA, 2004). Abaixo são apresentadas as metodologias de padronização de indicadores mais difundidas:

- **Baseada na Opinião de Especialistas:** a seleção de indicadores é realizada por especialistas no tema, ponderando-os de acordo com suas respectivas experiências acadêmicas e profissionais. Destaca-se o método DELPHI, baseado em pesquisa de opinião, busca evidenciar pontos consensuais entre os pesquisadores participantes (CANTER, 1998).
- **Método Numérico/estatístico:** aplicação de técnicas estatísticas visando reduzir efeitos de divergências de unidades de medida e de escala. As funções de padronização numéricas/estatísticas mais utilizadas para normalizar valores de indicadores são apresentadas nas Equações Eq. 1 e 2 (LOPES, 2001):

$$Z = \frac{(Xn - \mu)}{\sigma} \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde: Z é o valor padronizado do indicador; Xn é o valor original do indicador; μ é o valor médio do indicador; σ é o desvio padrão.

A equação seguinte normaliza os valores dos indicadores para uma escala que varia entre 0,0 e 1,0:

$$SI = \frac{(Zi - Zi^-)}{(Zi^+ - Zi^-)} \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde: SI é o valor do indicador padronizado; Zi é o valor original do indicador; Zi^+ é o valor máximo do indicador; Zi^- é o valor mínimo do indicador.

- **Atribuição de Pesos:** utilizada quando indicadores têm natureza qualitativa. A partir da opinião de especialistas, ordena-se as variáveis de acordo com o impacto que podem ter no sistema, na sequência são atribuídos valores (pesos) às variáveis qualitativas a fim de transformá-las em valores numéricos (os pesos podem ser atribuídos de forma equitativa ou arbitrária) (CALORIO, 1997).
- **Pontuação Direta:** amplamente utilizada, são construídos descritores qualitativos/quantitativos visando identificar um conjunto de níveis de impacto das variáveis, em seguida define-se o pior e o melhor nível, estes níveis serão as referências para escala de valores que serão atribuídos às variáveis (normalmente utiliza-se valores entre 0 e 100) (ENSSLIN *et al.*, 2001).

2.3 Técnicas de Agregação de Indicadores

A agregação de indicadores é o processo pelo qual são obtidos os índices, trata-se de uma técnica de simplificação e é uma etapa crucial para os sistemas de avaliação, uma vez que o uso de metodologias inadequadas pode resultar em graves distorções da realidade (OTT, 1978). As principais técnicas de agregação de indicadores são (LAURA, 2004):

- **Análise Multivariada:** técnica estatística que busca identificar os níveis de correlação entre um conjunto inicial de indicadores e um conjunto de fatores comuns (relação causa-efeito) e organizá-los conforme a importância relativa de cada variável, sendo esta determinada pelo

potencial de interferência no sistema avaliado e o grau de correlação com as demais variáveis (BOLLMANN & MARQUES, 2000).

- **Método Exclusivo:** baseado na escolha de uma informação em detrimento de todas as outras, efetuada por meio da aplicação dos Operadores Máximo ou Mínimo, sendo a que a informação selecionada irá compor o índice (BOLLMANN & MARQUES, 2000):

$$I = MÁX \{I_1, I_2, \dots, I_n\} \text{ ou } I = MÍN \{I_1, I_2, \dots, I_n\} \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde: I é o indicador selecionado para compor o índice; In são os indicadores disponíveis.

- **Formas Aditivas:** utiliza o somatório dos indicadores para composição do índice, sendo que a agregação pode ser efetuada por meio de funções lineares (Eq. 4, 5 e 6) ou não lineares (Eq. 7, 8, 9 e 10), conforme apresentadas no Quadro 2.3:

Quadro 2.3 - Formas aditivas de composição do índice

Funções Lineares	Funções Não Lineares
$I = \sum_{i=1}^n I_i \quad (\text{Eq. 4})$	$I = \left[\sum_{i=1}^n (I_i)^p \right]^{\frac{1}{p}} \quad (\text{Eq. 7})$
$I = \sum_{i=1}^n \alpha_i I_i \quad (\text{Eq. 5})$	$I = \left[\sum_{i=1}^n \alpha_i (I_i)^p \right]^{\frac{1}{p}} \quad (\text{Eq. 8})$
$\sum_{i=1}^{N_j} \alpha_i = 1 \quad (\text{Eq. 6})$	$I = \left[\sum_{i=1}^n \frac{1}{n} (I_i)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (\text{Eq. 9})$
Onde: I é índice a ser calculado; I_i é o i-ésimo parâmetro; n é o número de indicadores (parâmetros) considerados; α_i é o peso relativo do i-ésimo indicador; p é número positivo maior que 1.	$I = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{I_i}} \quad (\text{Eq. 10})$

Fonte: Adaptado de Laura, 2004.

- **Formas Multiplicativas:** utiliza a multiplicação dos indicadores para obtenção do índice, conforme Eq. 11:

$$I = \left(\prod_{i=1}^n I_i \right)^{\frac{1}{n}} \quad (\text{Eq. 11})$$

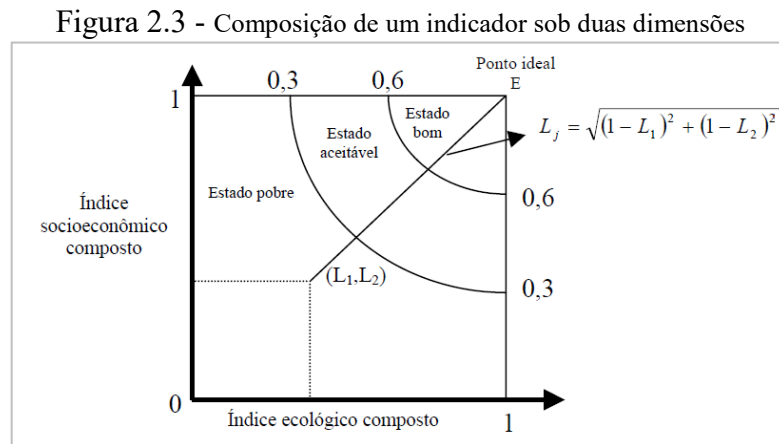
Onde: I é o valor final do índice; I_i são os indicadores disponíveis; n é número de indicadores relacionados.

- **Distância Composta:** utiliza o conceito da Distância Euclidiana para agregação dos indicadores, apresentada na Eq. 12:

$$I_j = \left(\sum_{i=1}^{N_j} \alpha_{ij} S_{ij}^{P_j} \right)^{\frac{1}{P_j}} \quad (\text{Eq. 12})$$

Onde: I é valor do índice; I_j: valor da distância composta (índice) para um grupo de indicadores de nível j; N_j: número de elementos no grupo de indicadores de nível j; S_{ij}: valor do índice básico ou composto i em um grupo (de indicadores básicos ou compostos) de nível j; P_j: fator de equilíbrio (ou desvio) para o grupo de indicadores de nível j; α_{ij}: fator de ponderação (taxa de substituição) i em um grupo (de indicadores básicos ou compostos) de nível j.

A Figura 2.3 apresenta a forma gráfica da metodologia de distância composta aplicada a um sistema com duas dimensões de sustentabilidade, ecológica e socioeconômica, onde L_j representa a distância entre o ponto ideal (E) e atual estado do sistema.



Fonte: UNESCO, 1987.

- **Métodos Não-Paramétricos:** baseados na aplicação das técnicas de classificação de dados não-paramétricos de Kendall.

Dentre os métodos citados, as técnicas de agregação **Aditivas** de indicadores foram identificadas como as mais difundidas e aplicadas na literatura consultada nesta pesquisa.

2.4 Iniciativas de Desenvolvimento de Índices e Indicadores de Sustentabilidade

2.4.1 Cenário Internacional

Embora esforços para mensurar o nível de qualidade socioambiental tenham sido registrados na segunda metade do século XX, as décadas de 1990 e 2000 compreendem o maior número de iniciativas voltadas ao desenvolvimento de conjuntos de indicadores ambientais e de sustentabilidade no cenário internacional. Após meados da década de 2000, especialmente nos períodos que comportam a crise econômica de 2008, observou-se uma redução no número de estudos e desenvolvimento de novas ferramentas e metodologias. Algumas iniciativas importantes no cenário internacional contextualizadas ao tema gestão e avaliação de recursos hídricos e sustentabilidade de bacias hidrográficas são apresentadas a seguir.

- **IQA**

O índice de qualidade da água (IQA) foi desenvolvido na década de 1970 pelo *National Sanitation Foundation* (BROWN *et al.*, 1970) e teve como base de seleção de indicadores o uso do método Delphi (DALKEY & HELMER, 1963). O IQA é obtido a partir da soma ponderada de nove parâmetros de qualidade da água (Quadro 2.4), o índice foi bem aceito pela comunidade científica no mundo inteiro, sendo amplamente difundido e utilizado para avaliar a qualidade da água e efetuar enquadramento de cursos d'água em classes (BALL & CHURCH, 1980).

Quadro 2.4 - Parâmetros que compõem o IQA e seus respectivos pesos

Parâmetros	Peso
OD	0,17
Coliformes fecais	0,15
pH	0,12
DBO5	0,10
Nitratos	0,10
Fosfatos	0,10
Temperatura	0,10
Turbidez	0,08
Sólidos totais	0,08

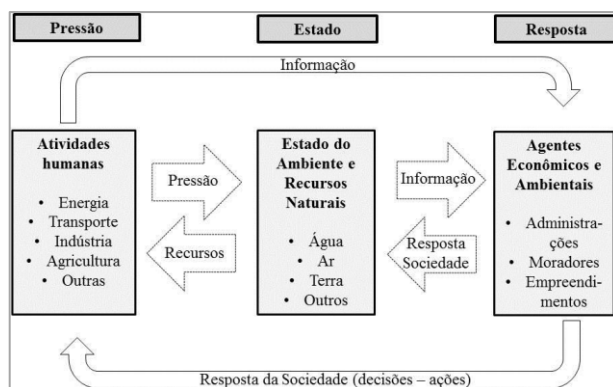
Fonte: Adaptado de Cetesb, 2004.

• Pressão-Estado-Resposta – OCDE

A *Organization for Economic Co-operation and Development* (OCDE) criou em 1993 uma metodologia de avaliação de indicadores ambientais denominada *Pressure-State-Response* (PSR), ou Pressão-Estado-Resposta (PER), onde: indicadores de pressão ambiental representam o impacto das atividades antrópicas sobre os recursos naturais (quantidade e qualidade); indicadores de estado representam a atual condição ambiental; indicadores de resposta representam ações da sociedade a fim de mitigar ou anular os impactos oriundos da pressão humana (OECD, 1993). Existem três variações do Modelo PER: FER, PEIR e FPEIR. A letra F (força motriz) representa fatos/eventos/cenários que induzem ou condicionam as pressões humanas, enquanto a letra I (impacto) representa os indicadores com capacidade de mensuração da degradação socioambiental (PNUMA, 2007).

Esta metodologia e suas variantes são amplamente utilizadas por diversos pesquisadores na elaboração e tratativa de seus respectivos índices e indicadores ambientais. A Figura 2.4 e Quadro 2.5 apresentam o diagrama básico do modelo PER e uma simples aplicação, respectivamente.

Figura 2.4 - Modelo Pressão-Estado-Resposta da OECD



Fonte: Teixeira, 2017.

Quadro 2.5 - Exemplos de indicadores da qualidade ambiental urbana: atmosfera

Classificação	Descrição	Indicadores
Pressão	Emissões atmosféricas urbanas (SOx, NOx, Compostos Orgânicos Voláteis).	Densidade de tráfego urbano. Grau de urbanização Industrialização.
Estado	População exposta ao ar poluído.	Concentração dos poluentes na atmosfera.
Resposta	Criação de áreas verdes. Instrumentos econômicos, fiscais e reguladores.	Áreas protegidas do desenvolvimento urbano. Redução na emissão dos gases.

Fonte: Adaptado de Teixeira, 2017.

- **Relatório Ambiental – África do Sul**

Desenvolvimento de um conjunto de indicadores ambientais para a elaboração do Relatório de Estado do Meio Ambiente. A seleção dos indicadores (Quadro 2.6) considerou a disponibilidade e periodicidade dos dados, como metodologia de avaliação utilizou-se o modelo conceitual PEIR (pressão, estado, resposta, impacto e resposta) (DEAT, 2002).

Quadro 2.6 - África do Sul - Lista de Indicadores Relativos a Águas Interiores

Dimensão	Indicador	PEIR	Periodicidade
Integridade: sistemas de água doce	Vegetação ribeirinha	E	5 anos
	Composição de macroinvertebrados aquáticos	E	Anual
	Saúde da comunidade de peixes	E	Anual
	Integridade de habitat aquático	E	5 ou 10 anos
Qualidade das águas	Salinidade das águas de superfície	E	Anual
	Salinidade das águas subterrâneas	E	Anual
	Nutrientes das águas superficiais	E	Anual
	Nutrientes das águas subterrâneas	E	Anual
	Microbiologia das águas superficiais	E	Anual
	Microbiologia das águas subterrâneas	E	Anual
	Toxicidade das águas superficiais	I	Anual
Quantidade de água	Intensidade de uso dos recursos hídricos superficiais	P	5 anos
	Intensidade de uso dos recursos hídricos subterrâneos	P	5 anos
	Total de água superficial usada por setor	P	5 anos
	Total de água subterrânea usada por setor	P	5 anos
	Total de recursos hídricos superficiais disponíveis <i>per capita</i>	E	5 anos
	Pessoas dependentes de recursos hídricos subterrâneos	E	5 anos
	Relação entre recursos hídricos superficiais disponíveis <i>per capita</i> e a renda <i>per capita</i> que pode ser usada para obter a água	R	Anual

Legenda: P (pressão), E (estado), I (impacto), R (resposta).

Fonte: Adaptado de Maranhão, 2007.

- **Austrália**

Indicadores da *Australian and New Zealand Environment and Conservation Council* (ANZECC & ARMCANZ, 2000), Quadro 2.7, avaliados segundo o modelo conceitual PER (Pressão-Estado-Resposta), fundamentados na ideia de saúde do ecossistema aquático e ética ecocêntrica.

Quadro 2.7 - Austrália - Lista de Indicadores Relativos à Água

Tema	Indicador	PER
Águas subterrâneas	Extração de água subterrânea vs. Disponibilidade	E
	Inconformidades verificadas no monitoramento da qualidade das águas subterrâneas	E
Águas superficiais	Extensão da cobertura por vegetação de raízes profundas por bacia	P
	Retiradas de águas superficiais vs. Disponibilidade	P
	Objetivos dos fluxos ambientais	R
	Descargas pontuais	P
	Salinidade das águas superficiais	E
	Inconformidades verificadas no monitoramento das águas superficiais	E
	Florações de algas de águas doces	E
	Águas servidas	R
	Reuso de águas	R
Habitats aquáticos	Extensão de rios protegidos com cobertura vegetal	P
	Saúde dos rios	E
	Extensão e cobertura das áreas úmidas	E
	Estoque estimado de peixes nas águas doces	E

Legenda: P (pressão), E (estado), R (resposta).

Fonte: Adaptado de Maranhão, 2007.

• Canadá

No ano 2000, a Mesa Redonda Nacional sobre o Meio Ambiente e Economia canadense elaborou conjuntamente com a *Statistics Canada* e a *Environment Canada* um conjunto de indicadores de desenvolvimento sustentável que deveria utilizar dados e indicadores confiáveis e bem aceitos pela comunidade envolvida. Os indicadores (Quadro 2.8) foram estruturados sob a noção de capital: produzido, humano e natural (TRNEE, 2003).

Quadro 2.8 - Dimensões e indicadores da iniciativa canadense

Capital	Categoria	Indicadores
Estoques de capital	Água	Medida da escassez de água
	Qualidade da água e saúde dos peixes de água doce	Mercúrio no tecido dos peixes
Produtos de serviços de ecossistemas	Provisão de água limpa para humanos e ecossistemas	Qualidade da água superficial
	Provisão de água potável para a saúde humana	Incidência de doenças veiculadas pela água
		População servida por tratamento de esgotos
Capital natural	-	Extensão de áreas úmidas

Fonte: Adaptado de TRNEE, 2003.

• Índice de Pobreza Hídrica

Elaborado por Lawrence *et al.* (2002), a partir de trabalhos realizados em países africanos e no Sri Lanka, a metodologia combina indicadores de disponibilidade hídrica e acesso à água com indicadores socioeconômicos da população, elucidando a conexão entre baixa qualidade de recursos hídricos e pobreza (SULLIVAN *et al.*, 2003). O valor do índice é determinado por meio da média ponderada dos componentes recursos (R), acesso (A), capacidade de suportar o acesso (C), uso (U), ambiente (E), conforme disposto no Quadro 2.9.

Quadro 2.9 - Dimensões e indicadores do Índice de Pobreza Hídrica

Dimensão	Indicadores
Recursos (R)	Fluxo interno de água potável
	Transferências de águas de fora da bacia (transposições para a bacia)
	População
Acesso (A)	Percentual da população com acesso à água limpa
	Percentual da população com acesso à saneamento
	Percentual da população com acesso à irrigação ajustada aos recursos de água <i>per capita</i>
Capacidade (C)	Paridade do poder de compra em renda <i>per capita</i>
	Taxa de mortalidade abaixo de cinco anos
	Taxa de matrícula na rede escolar
	Índice de Gini
Uso (U)	Uso doméstico da água em litros por dia
	Percentual do uso da água por indústrias e na agricultura ajustadas ao percentual do setor no PIB
Meio Ambiente (E)	Índice de Qualidade da água
	Índice de Estresse hídrico
	Índice de Regulamentação e administração do meio ambiente
	Índice de Capacidade de acesso à informação
	Índice de Biodiversidade baseada nas espécies ameaçadas
$WPI = \frac{w_R R + w_A A + w_C C + w_U U + w_E E}{w_R + w_A + w_C + w_U + w_E}$ Onde: WPI = índice de pobreza hídrica; w_i = peso aplicado a cada componente; X_i = valor normalizado do componente i da estrutura do WPI (R, A, C, U ou E).	

Fonte: Adaptado de TRNEE, 2003.

• Índice de Bacias – Estados Unidos

Índice construído com o intuito de caracterizar a situação e nível de vulnerabilidade dos recursos hídricos nas bacias dos 50 estados americanos. Desenvolvido pela EPA (*Environmental Protection Agency*), a ferramenta está fundamentada nos Indicadores de Qualidade das Águas nos Estados Unidos. De modo geral, os resultados obtidos com a ferramenta não foram satisfatórios, o Painel de Consultores da EPA (Scorecard, 2005) notificou que os dados disponíveis para a construção do índice nem sempre fornecem avaliações confiáveis do estado de saúde ambiental da bacia e diferenças observadas nos resultados do índice aplicado em diferentes bacias podem não representar diferenças significativas na qualidade ambiental. A lista básica de indicadores é apresentada no Quadro 2.10:

Quadro 2.10 - Indicadores da USEPA utilizados no Índice de Bacias

Classe	Indicadores
Condição	Rios avaliados que atendem aos usos designados estabelecidos pelos Padrões de Qualidade da Água
	Indicadores de Qualidade da Água para Sistemas de Abastecimento Doméstico
	Recomendações para Consumo de Peixes e Caça
	Sedimentos contaminados
	Dados de Qualidade de Água Ambiente – quatro poluentes tóxicos (Cu, Cr, Ni, Zn)
	Dados de Qualidade de Água Ambiente – quatro poluentes convencionais (OD, pH, DBO, P)
	Índice de perda de áreas úmidas
Vulnerabilidade	Espécies aquáticas/de áreas úmidas em risco
	Cargas de poluentes despejadas acima dos limites permitidos – poluentes tóxicos
	Cargas de poluentes despejadas acima dos limites permitidos - poluentes convencionais
	Escoamento superficial urbano potencial
	Índice de Escoamento Superficial Rural Potencial
	Mudanças populacionais
	Modificação hidrológica – Barragens
	Índice de Susceptibilidade de Poluição Estuarina

Fonte: Adaptado de Maranhão, 2007.

2.4.2 Cenário Nacional

No cenário brasileiro, embora não tenham sido identificados consensos quanto ao uso de sistemas de indicadores e índices de sustentabilidade, algumas iniciativas que se destacaram são apresentadas nos itens subsequentes.

- **Indicadores de Desenvolvimento Sustentável - Brasil (IDS-Brasil)**

Lista de indicadores de desenvolvimento sustentável de abrangência nacional, está sob tutela do IBGE e resulta da participação de diversas instituições brasileiras de variados segmentos. As análises e atualização dos indicadores são periódicas e difundidas por meio de relatórios e portal. A última edição, lançada em 2017, contempla 129 indicadores, distribuídos e avaliados conforme as dimensões recomendadas pela ONU: ambiental, social, econômica e institucional. Por meio das referências utilizadas neste trabalho, observou-se que o nível de difusão e uso dos indicadores é restrito, uma das razões para a limitação de uso pode estar associada ao fato de algumas séries temporais de dados não abrangerem períodos representativos e à ausência de dados para determinadas localidades. A lista de indicadores está disponível no sítio do IBGE: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/ids/tabelas>.

- **SINPLAGE – Sistema de Indicadores para Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos de Bacias Hidrográfica**

Sistema de indicadores construído para subsidiar o processo de planejamento e gestão dos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica. A metodologia foi aplicada em cinco bacias hidrográficas brasileiras em diferentes estágios de conservação: Jutaí, Tocantins-Araguaia, Paraíba do Sul, Tietê e Verde Grande. A ferramenta é composta por oito indicadores aninhados em quatro dimensões de gerenciamento de recursos hídricos, conforme Quadro 2.11 (disponibilidade, usos, vulnerabilidade e gestão) (MARANHÃO, 2007):

Quadro 2.11 - Dimensões e indicadores que compõem o SINPLAGE

Dimensão	Indicadores
Disponibilidade	Disponibilidade hídrica alocável Potencial de vazão regularizável
Usos	Retiradas totais Relação entre DBO removida e DBO assimilada
Vulnerabilidade	Área da cobertura vegetal nativa em relação à área total da bacia Grau de destinação adequada de resíduos sólidos domiciliares
Gestão	Avaliação da existência, funcionamento e atendimento às necessidades dos instrumentos de gestão outorga, enquadramento, Plano de Recursos Hídricos e sistema de informações sobre recursos hídricos. - Dividido em dois grupos de indicadores: Suíte Instrumental I e II.

Fonte: Adaptado de Maranhão, 2007.

- **Modelo para Avaliação de Desempenho de Política Pública de Meio Ambiente/MG**

Método para avaliação de desempenho de política pública de meio ambiente desenvolvido para países em desenvolvimento por meio de indicadores analisados segundo modelo Pressão-Estado-Resposta. Os indicadores foram definidos por meio da metodologia *Delphi* e agregados em seis temas (Quadro 2.12): Ar, Água, Solo, Biodiversidade, Socioeconômico e Institucional. Modelo aplicado no Estado de Minas Gerais (RIBEIRO, 2005).

Quadro 2.12 - Dimensões e indicadores do modelo de Ribeiro (2005)

Dimensão	Indicadores
Ar	Porcentagem de medições de concentração de Partículas Inaláveis (PM10) acima do padrão (média anual)
Água	Porcentagem de medições de concentração de DBO acima do padrão Porcentagem de medições de concentração de coliformes fecais (termotolerantes) acima do padrão Porcentagem de medições de concentração de oxigênio dissolvido abaixo do padrão Porcentagem de medições com índice de toxidez alta Porcentagem de população com esgoto tratado ou disposto adequadamente
Solo	Porcentagem de área recuperada em relação à área total degradada Porcentagem de população com disposição adequada de lixo Tonelada de agrotóxico / hectare de área cultivada
Biodiversidade	Porcentagem de área com cobertura nativa em relação à área total Porcentagem de áreas preservadas (unidades de conservação de proteção integral) em relação à área total Porcentagem de desmatamentos em relação à área total
Institucional	Porcentagem de recursos públicos para meio ambiente em relação ao orçamento total executado
Socioeconomia	Mortalidade infantil
IDPA = iAR + iÁGUA + iSOLO + iBIOD + iINST + iSOCE	

Fonte: Adaptado de Ribeiro, 2005.

- **ISA – Indicador de Salubridade Ambiental**

Metodologia desenvolvida pela Câmara Técnica de Planejamento do Conselho Estadual de Saneamento do Estado de São Paulo (CONESAN) com o intuito de aferir a situação de salubridade ambiental de determinada região e suas respectivas causas (SILVA, 2006). O ISA agrega indicadores de abastecimento de água, esgotamento sanitário, resíduos sólidos e socioeconômicos. Normalmente é capaz de retratar de forma singular questões típicas da realidade local, mas pode apresentar alto nível de subjetividade, uma vez que a metodologia original da ferramenta utiliza alguns dados técnicos de difícil obtenção, prejudicando a replicação e comparações com outras localidades (ROCHA *et al.*, 2010). O ISA tem sofrido alterações em sua formulação original, de modo que autores realizam adaptações de acordo com as características do local sob análise, sendo utilizado em diversas regiões do Brasil (TEIXEIRA, 2017). Os indicadores que compõem o ISA são apresentados no Quadro 2.13:

Quadro 2.13 - Indicadores e subindicadores constituintes do ISA

Indicadores	Subindicadores
Iab - indicador de abastecimento de água	Cobertura de abastecimento (Ica) Qualidade da água distribuída (Iqa) Saturação dos Sistemas Produtores (Isa)
Ies - indicador de esgotos sanitários	Cobertura em coleta e Tanques Sépticos (Ice) Esgoto tratado e Tanque Séptico (Ite) Saturação do Tratamento (Ise)
Irs - indicador de resíduos sólidos	Coleta de Resíduos (Icr) Tratamento e Disposição Final (Iqr) Saturação da Disposição Final (Isr)
Icv - indicador de controle de vetores	Dengue (Ivd) Esquistossomose (Ive) Leptospirose (Ivl)
Irh - indicador de recursos hídricos	Água Bruta (Iqb) Disponibilidade dos Mananciais (Idm) Fontes isoladas (Ifi)
Ise - indicador socioeconômico	Indicador de Saúde Pública (Isp) Indicador de Renda (Irf) Indicador de Educação (Ied)
ISA = 0,25 Iab + 0,25 Ies + 0,25 Irs + 0,10 Icv + 0,10 Irh + 0,05 Ise	

Fonte: Adaptado de Teixeira, 2017.

- **ABNT NBR ISO 37120:2017**

Resultado da tradução e adaptação da norma internacional ISO 37.120:2014 para o contexto nacional, a ISO 37.120:2017, denominada “Desenvolvimento sustentável em comunidades – indicadores para serviços urbanos e qualidade de vida” é a primeira norma técnica brasileira voltada à avaliação do nível de sustentabilidade das cidades. A norma tem como foco avaliar cidades com população superior a 100.000 habitantes e traz uma metodologia clara para mensuração da sustentabilidade por meio de um conjunto de 100 indicadores (46 essenciais e

54 de apoio), divididos em 17 temas/seções (sociais, ambientais, econômicos, mobilidade urbana, dentre outros) (COUTO, 2018). A estrutura básica dos indicadores é apresentada no Quadro 2.14:

Quadro 2.14 - Estrutura dos indicadores da NBR ISO 37.120:2017

Seções de Indicadores	Indicadores Essenciais (nº)	Indicadores de Apoio (nº)
Educação (Seção 6)	3	4
Energia (Seção 7)	4	3
Meio Ambiente (Seção 8)	4	3
Finanças (Seção 9)	3	5
Resposta a Incêndios e Emergências (Seção 10)	1	3
Governança (Seção 11)	3	3
Saúde (Seção 12)	2	4
Recreação (Seção 13)	4	3
Segurança (Seção 14)	-	2
Habitação (Seção 15)	2	3
Resíduos Sólidos (Seção 16)	1	2
Telecomunicações e Inovação (Seção 17)	3	7
Transporte (Seção 18)	2	1
Planejamento Urbano (Seção 19)	4	5
Esgotos (Seção 20)	1	3

Fonte: Adaptado de WCCD, 2018.

Ao padronizar e uniformizar indicadores, a ferramenta potencializou uma comparação consistente entre diversas cidades do mundo. Além de mensurar o progresso ao longo do tempo, tornou-se prático extrair bons exemplos de práticas sustentáveis de cidades em contexto global e promover intercâmbio de informações. Foi neste sentido que o *World Council on City Data* (WCCD), conselho líder mundial no processo de padronização de métricas urbanas, desenvolveu o sistema de certificação ISO 37.120, as cidades avaliadas e certificadas sob a norma são registradas no *Global Cities Registry TM*. A certificação das cidades varia entre cinco níveis, de acordo com a quantidade de indicadores fornecidos (Quadro 2.15) (ALMEIDA, 2019). Todas as informações são disponibilizadas no portal da WCCD, atualmente há 48 cidades certificadas pela ISO 37.120, nenhuma brasileira.

Quadro 2.15 - Níveis de certificação do WCCD

Níveis de Certificação - WCCD					
	ISO 37120 ASPIRATIONAL WCCD 2014 WORLD COUNCIL ON CITY DATA Aspirational	ISO 37120 BRONZE CERTIFIED WCCD 2014 WORLD COUNCIL ON CITY DATA Bronze	ISO 37120 SILVER CERTIFIED WCCD 2014 WORLD COUNCIL ON CITY DATA Silver	ISO 37120 GOLD CERTIFIED WCCD 2014 WORLD COUNCIL ON CITY DATA Gold	ISO 37120 PLATINUM CERTIFIED WCCD 2014 WORLD COUNCIL ON CITY DATA Platinum
Número de indicadores					
Essenciais	30 a 45	46	46	46	46
Apoio	-	1 - 13	14 - 29	30 - 44	45 - 54

Fonte: Adaptado de WCCD, 2018.

- **Indicadores de Sustentabilidade Para Cidades Históricas de Minas Gerais**

Projeto de pesquisa em desenvolvimento pela Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP) no âmbito de instância coletiva e não governamental de contribuição às políticas públicas voltadas ao desenvolvimento sustentável das cidades históricas, denominada Fórum de Sustentabilidade das Cidades Históricas de Minas Gerais. Estudo em fase inicial, aberto para contribuições e participação de interessados.

- **Outras Ferramentas (nacionais e internacionais)**

Longe de buscar esgotar o número de iniciativas e programas desenvolvidos com o intuito de mensurar a sustentabilidade, o presente estudo considera importante conhecer outros instrumentos disponíveis, a fim de ampliar o repertório sobre os métodos empregados por pesquisadores nas diferentes abordagens sobre o tema. Dessa forma, o Quadro 2.16 apresenta de forma sintética e complementar mais algumas iniciativas e índices de sustentabilidade com bom embasamento metodológico e aplicáveis ao contexto de bacias hidrográficas:

Quadro 2.16 - Iniciativas e Índices de Sustentabilidade Aplicáveis a Bacias Hidrográficas

Índice/Conjunto de Indicadores/Iniciativa	Descrição Sintética da Metodologia
Estrutura das Nações Unidas para o desenvolvimento de estatísticas ambientais (FDES – <i>Framework for the Development of Environment Statistics</i>)	Desenvolvida na década de 1980, consiste em uma lista de verificação destinada a reunir sistematicamente as estatísticas ambientais e indicadores. Não contempla a contabilização e/ou relações funcionais entre as variáveis estatísticas e os indicadores (GALLOPIN, 1997; PATTERSON, 2002).
Pegada Hídrica (<i>Water Footprint</i>)	Indicador multidimensional que apresenta os volumes de água consumida e os volumes de poluição, cujos componentes do cálculo de água são especificados geograficamente e temporalmente (HOEKSTRA et al., 2009). Auxilia na tomada de decisões por meio de análises comparativas de uso de recursos hídricos (HOEKSTRA et al., 2009).
Indicadores de Fluxo de Material	Mensura impactos num sistema devido às atividades econômicas. Descreve os fluxos físicos de recursos naturais, contabilizando todos os materiais e energia (incluindo perdas) utilizados num processo produtivo de um produto/serviço. Ferramenta útil para avaliação e melhoria de processos (PATTERSON, 2002; NESS et al., 2007).
Índice de sustentabilidade ambiental (ESI – <i>Environmental Sustainability Index</i>)	Desenvolvido pelo Fórum Mundial de Economia (2001), mede o progresso em direção à sustentabilidade ambiental e quantifica a probabilidade que um território possui de preservar recursos naturais ao longo de um período de tempo. Composto por 68 indicadores distribuídos em cinco categorias: estado dos sistemas ambientais; redução de estresses em sistemas ambientais; redução de vulnerabilidade humana em mudanças ambientais; capacidade social e institucional para lidar com desafios ambientais e habilidade de cumprir os padrões e acordos internacionais (PATTERSON, 2002; NESS et al., 2007).
<i>Living Planet Index (LPI)</i>	Idealizado e utilizado pelo <i>World Wildlife Fund (WWF)</i> , mede o estado e a tendência global da biodiversidade em ecossistemas florestais, espécies marinhas e de águas continentais (PATTERSON, 2002).
Índice de bem-estar econômico sustentável (ISEW – <i>Index of Sustainable Economic Welfare</i>)	Desenvolvido com o objetivo de integrar exterioridades econômicas e ambientais no cômputo do bem-estar nacional. Ajusta práticas da contabilidade nacional para abranger um conjunto de causas determinantes do bem-estar, incluindo deduções

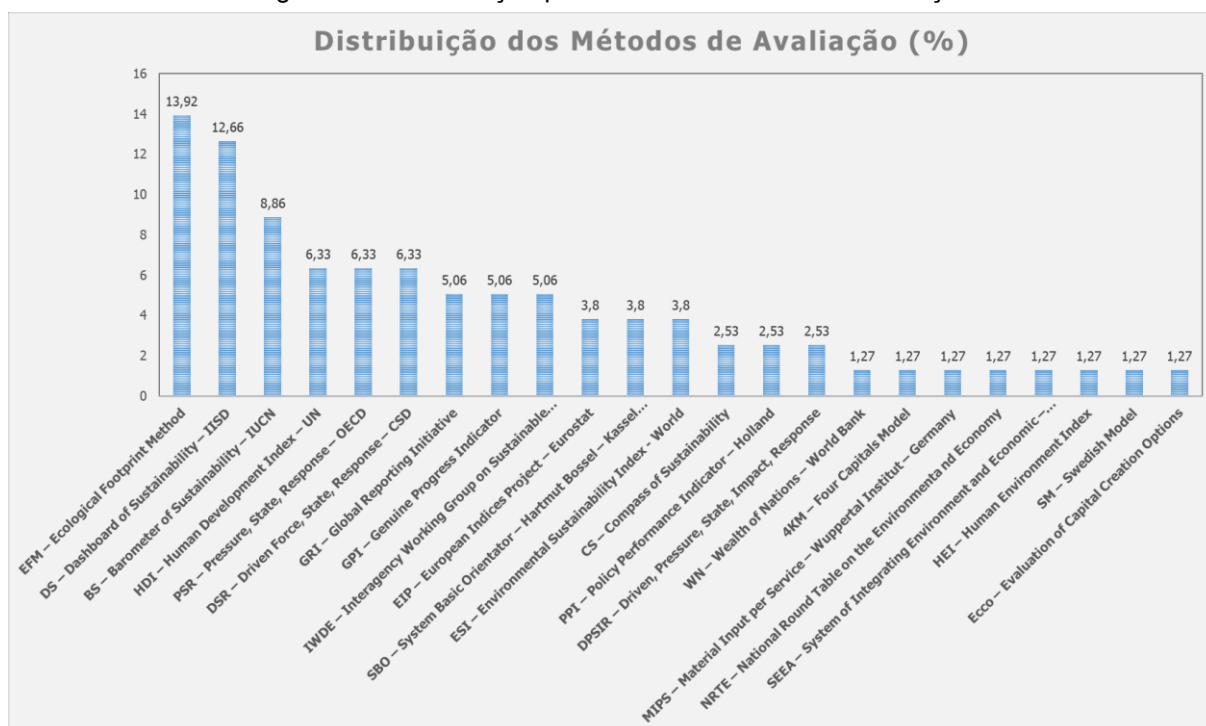
Índice/Conjunto de Indicadores/Iniciativa	Descrição Sintética da Metodologia
	com gastos militares, degradação ambiental e depreciação do capital natural (NESS <i>et al.</i> , 2007).
Projeto Global Environment Outlook (GEO)	Processo de avaliação participativo e consultivo que visa detectar as mudanças socioambientais no ambiente global. Desenvolvido pelo PNUMA em 1995, a ferramenta contém 676 indicadores que são avaliados de acordo com a metodologia DPSIR., os resultados são apresentados em portais e sob a forma de relatórios periódicos (SOUTO, 2011).
Rede de Instituições e Especialistas em Estatísticas Sociais e Ambientais da América Latina e Caribe (REDESA)	Conjunto de indicadores selecionados pelo departamento de estatística da CEPAL (Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe) em 2001 para avaliar a situação socioeconômica e ambiental dos países da América Latina e Caribe (SOUTO, 2011).
Sistema de Indicadores de Desenvolvimento Sustentável da Argentina – Sistema de Indicadores de Desarrollo Sostenible Argentina (SIDSA)	Iniciativa do governo argentino de desenvolvimento de uma visão holística e integrada da sustentabilidade. A lista de indicadores foi definida por meio de grupos de trabalhos técnicos e consultas públicas (SOUTO, 2011).
Proposta de um sistema de Indicadores de Desenvolvimento Sustentável para bacias hidrográficas.	Sistema composto por 40 indicadores de desenvolvimento sustentável com a finalidade de avaliar a adequação dessa ferramenta como um instrumento para gestão de bacias hidrográficas (GUIMARÃES, 2008).
Programa Município Verde Azul - PMVA	Criada em 2007 pela Secretaria Estadual do Meio Ambiente (SMA) de São Paulo visando o desenvolvimento e aplicação de Planos de Gestão Ambientais locais a partir de uma agenda composta por 10 diretrizes: Esgoto Tratado (ET), Resíduos Sólidos (RS), Biodiversidade (BIO), Arborização Urbana (AU), Educação Ambiental (EA), Cidade Sustentável (CS), Gestão das Águas (GA), Qualidade do Ar (QA), Estrutura Ambiental (EM), e Conselho Ambiental (CA). O programa conta com a participação de 100% dos municípios paulistas, que enviam periodicamente um Relatório de Gestão Ambiental, que será pontuado entre de zero (0) e cem (100), ao obter nota for igual ou superior a 80 o município recebe a certificação ou selo de Município Verde-Azul (MUNICÍPIO VERDEAZUL, 2017).
Programa Cidades Sustentáveis - PCS	Implementado em 2011, o Programa busca promover a agenda de desenvolvimento sustentável nos municípios brasileiros e os ODS (Objetivos de Desenvolvimento Sustentável – Agenda 2030). A iniciativa é composta por uma lista de 260 indicadores, distribuídos em 12 eixos temáticos. O programa tem como foco avaliar centros urbanos e suas perspectivas frente à agenda sustentável. Cerca de 200 cidades participam do programa (ANDRADE, 2017).

Fonte: Autor, 2020.

2.5 Principais Ferramentas de Avaliação da Sustentabilidade

As ferramentas de mensuração da sustentabilidade Pegada Ecológica (PE, *Ecological Footprint*), Painel da Sustentabilidade (PS, *Dashboard of Sustainability*) e Barômetro de Sustentabilidade (BS, *Barometer of Sustainability*) são os índices mais aplicados e difundidos no cenário internacional (VAN BELLEN, 2006; OLIVEIRA *et al.*, 2015). Em 2002, uma década após o delineamento dos marcos conceituais de desenvolvimento sustentável e sua respectiva necessidade de mensuração, um levantamento realizado junto a um grupo de pesquisadores envolvidos em métodos de avaliação de sustentabilidade salientava a preferência por estas três ferramentas, conforme apresentado na Figura 2.5: PE (13,92%), PS (12,66%), BS (8,86%) (VAN BELLEN, 2002).

Figura 2.5 - Distribuição percentual de métodos de avaliação



Fonte: Adaptado de Van Bellen, 2002.

Estes métodos (PE, PS e BS) trouxeram grande contribuição para as discussões acerca do tema sustentabilidade, permitindo avaliar aspectos antropogênicos e ambientais de forma concomitante e em perspectivas geográficas de grande amplitude (local, regional, nacional etc.) (CALLADO, 2010). Entretanto, de forma geral, eles não têm sido utilizados no contexto de bacias hidrográficas. Um levantamento realizado por Castilhos (2017) demonstra o potencial e a usabilidade destas ferramentas também no contexto das cidades brasileiras:

- **Pegada Ecológica:** Rio de Janeiro/RJ, Curitiba/PR, São Luís/MA, Natal/RN, Campo Grande/MS, Joinville/SC, Londrina/SC, Florianópolis/SC, Campina Grande/PB, São Leopoldo/RS, Rio Claro/SP, Araguari/MG, Ibiúna/SP, Navegantes/SC, Caicó/RN, Aquidauana/MS, Coremas/PB.
- **Painel da Sustentabilidade:** Goiânia/GO, Belém/PA, João Pessoa/PB, Rio Branco/AC, Rio Verde/GO, Lages/SC, Canindé/CE, Ceres/GO, Cananéia/SP, Aruanã/GO.
- **Barômetro da Sustentabilidade:** João Pessoa/PB, Ribeirão Preto/SP, Vitória da Conquista/BA, Taubaté/SP, Rondonópolis/MT, Teresópolis/RJ, Altamira/PA, Tucuruí/PA, Tubarão/SC, Moju/PA, Ouro Preto/MG, Caicó/RN, Pitimbu/RN.

Outra ferramenta que, embora ainda não tenha o mesmo nível de difusão e aplicação das citadas anteriormente, tem logrado resultados plausíveis, rápidos e objetivos é o **Índice de Sustentabilidade de Bacias Hidrográficas (WSI - *Watershed Index of Sustainability*)**. O WSI tem metodologia muito clara e é calculado com base em informações de alta disponibilidade e facilidade de replicação (CHAVES & ALIPAZ, 2007), ao passo que o nível de sua utilização tem registrado avanços significativos, com destaque para as aplicações abaixo (CORTÉS *et al.*, 2012; SILVA e LIMA, 2017; SILVA *et al.*, 2015; CALIZAYA, 2009; BARBOSA, 2017; MITILELU-IONUS, 2017; FIRDAUS *et al.*, 2013; CHANDNIHA *et al.*, 2014):

- Bacia do Rio Banabuiú (Ceará), Sub-bacia do Baixo Piranhas (Paraíba), Bacia do Lago Poopo (Bolívia), Bacia do Rio Elqui (Chile), Sub-bacia do Rio Mandu (Minas Gerais), Bacia do Rio Langat (Malásia), Bacia do Rio Batang Merao (Indonésia), Bacia do Rio Japaratuba (Sergipe), Bacia do Rio Reventazón (Costa Rica), Bacia do Piperiya (Índia) e Bacia do Rio Motru (Romênia).

Têm-se assim as ferramentas de mensuração da sustentabilidade que serão analisadas e aplicadas neste estudo (sub-bacia do Ribeirão Onça): PE, PS, BS e WSI.

2.5.1 Pegada Ecológica (*Ecological Footprint*)

O método Pegada Ecológica (*Ecological Footprint*) foi desenvolvido por Wackrnagel e Ress em 1996 e difundido por meio do livro “*Our ecological footprint*” (Nossa pegada ecológica). A ferramenta é baseada em critérios ecológicos e tem como objetivo estimar a área requerida para sustentar a vida e as atividades de uma população e/ou sistema econômico. O método quantifica fluxos de matéria e energia, convertendo-os em áreas, que basicamente correspondem à quantidade de área terrestre e de água (superfície) de um ecossistema requerida para manter o padrão de vida de uma população pelo uso e consumo dos recursos materiais e energéticos, assim como para a assimilação dos resíduos produzidos (WACKERNAGEL & REES, 1996).

Tendo como base temporal um ano de referência, a Pegada Ecológica é analisada sob uma única dimensão, ecológica, e busca mensurar a intensidade com que recursos naturais têm sido explorados pela comunidade (Hails *et al.*, 2006), alusão apresentada na Figura 2.6.

Figura 2.6 - Pegada Ecológica



Fonte: BhRecicla, 2020.

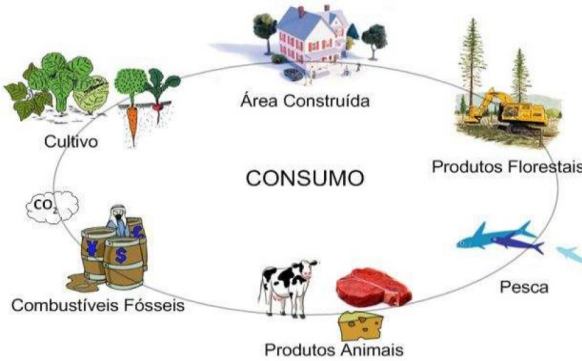
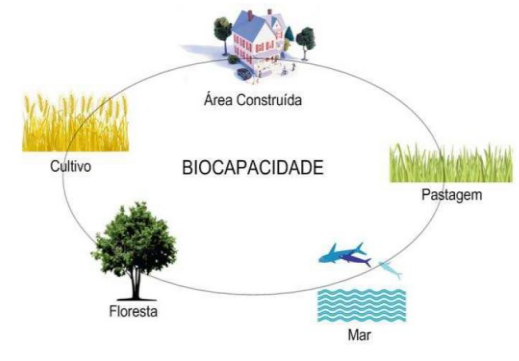
A verificação quantitativa da capacidade dos recursos naturais para manter um fluxo de matéria e energia que atenda à população é efetuada por meio de uma modalidade de contabilidade denominada EF-GAEZ (*Ecological Footprint – Global Agro-Ecological Zones*), a métrica é baseada nas suposições abaixo (LOH & WACKERNAGEL, 2004; PEREIRA, 2008):

- É possível monitorar as quantidades anuais dos recursos consumidos e desperdícios gerados pela população, que podem ser mensurados fisicamente (kg, joules, m³);
- A maioria dos fluxos podem ser medidos em termos de área necessária para sua manutenção, permitindo identificar a relação existente entre processos bioprodutivos e superfícies que podem capturar a luz solar por fotossíntese;
- Diferentes zonas em hectares reais podem se expressar em termos de áreas padronizadas com produtividade média: áreas padronizadas (“hectares globais” (gha)), representam as áreas com potencial para produção de biomassa igual à média potencial mundial;
- Áreas servem somente a um propósito, sendo destinadas apenas à produção de determinado recurso/serviço em dado momento;
- Áreas equivalentes à demanda humana (pegada) e à oferta de recursos pela natureza (biocapacidade), bem como seus respectivos componentes, são diretamente comparáveis;
- Área de demanda pode exceder a área de oferta, consumo maior que a biocapacidade indica que a demanda excede a capacidade regenerativa dos recursos naturais.

Componentes da Pegada Ecológica

O cálculo da PE possui dois componentes principais, Pegada Ecológica (consumo) e Biocapacidade (oferta), as características e classes que as compõem são apresentadas no Quadro 2.17 (MONFREDA *et al.*, 2004):

Quadro 2.17 - Componentes da Pegada Ecológica

Pegada Ecológica (Consumo)	Biocapacidade (Oferta)
	
Pegada Ecológica: representa o consumo e produção de cultivos, pastagem, floresta, pesca, áreas construídas e combustíveis (pegada de carbono). Equivalem à taxa de consumo de determinada localidade, convertida para uma unidade de área (hectare global).	Biocapacidade: capacidade de produção e acumulação biológica (expressa em hectares globais) de biomassa utilizável. Abrange as categorias cultivo, pastagem, floresta, pesca (mar) e área construída. Representa a taxa de oferta de recursos naturais disponíveis à comunidade.
Cultivo: representa a área requerida para cultivar todos os produtos de origem agrícola, incluindo alimentos para animais, farinha de peixe, óleos vegetais e borracha. É o tipo de uso da terra que apresenta o maior nível de produtividade. Captura a energia incorporada nas entradas da agricultura (fertilizantes, agrotóxicos, mecanização), mas ignora a degradação oriunda de práticas agrícolas inadequadas. Sintetiza o nível de consumo vegetal de determinada comunidade.	Cultivo: terras aráveis disponíveis para o cultivo de alimentos para humanos e animais. Apresentam o maior nível de produtividade de biomassa vegetal, incluindo áreas de pastagem. Representa o nível máximo de produtos/recursos vegetais disponibilizados pela natureza.
Infraestrutura/Área Construída: áreas ocupadas por elementos de infraestrutura, construções e estabelecimentos humanos. Subentendem-se que substituem áreas previamente destinadas à produção agrícola, ao passo que para fins produtivos apresentam fator de produção equivalente às áreas de cultivo. Além dos perfis de engenharia e construção urbanos, comportam áreas impermeabilizadas/pavimentadas, jardins e parques em áreas centrais. Representa a carga que serviços de infraestrutura, moradia e manutenção de uma localidade exercem sobre os recursos naturais.	Infraestrutura/Área Construída: áreas dotadas de serviços de infraestrutura, suporte à habitação, transporte e sistemas de produção industrial em determinada localidade. Consideram o mesmo fator de produtividade de áreas de cultivo.
Pastagem/Pecuária: área estimada para atender às necessidades energéticas da pecuária (especialmente criação de gado): ração, pastagens e resíduos. Os nutrientes extraídos do solo e pastagens pela alimentação animal são transformados em proteína, base de mensuração do consumo de carne pela população.	Pastagem/Pecuária: áreas destinadas às atividades de pecuária em determinada região, normalmente providas de forragens herbáceas. Representa a capacidade de fornecimento de proteína animal para a comunidade local.
Produtos Florestais: consumo de madeira e papel utilizados para atender às necessidades humanas, reflete áreas de extração madeireira requerida para fornecer o volume de matéria-prima consumido pela comunidade.	Floresta¹: área destinada à produção de madeira utilizada para atender às necessidades da comunidade; Floresta²: representa áreas de cobertura florestal necessária para sequestrar emissões antropogênicas de dióxido de carbono (CO₂).
Pesca: consumo de peixes de origem marinha, reflete a área necessária para o cultivo e manutenção do sistema de produção.	Pesca: áreas marinhas disponíveis para reprodução e manutenção dos sistemas pesqueiros.
Carbono/Combustíveis Fósseis: emissões de CO₂ provenientes de combustão de combustíveis fósseis e não fósseis, consumo e geração de energia, carbono incorporado em itens comercializados, transporte e atividades com alto potencial de poluição/emissão de CO₂.	

Fonte: Adaptado de Monfreda *et al.*, 2004; Hails *et al.*, 2006; 2004; GFN, 2019.

O cálculo da PE é composto das seguintes etapas (VAN BELLEN, 2006):

- a. Calcular a média anual de consumo de itens particulares (consumo anual *per capita*);
- b. Calcular/estimar a área *per capita* destinada à produção de cada um dos principais itens de consumo (consumo anual *per capita* (kg/pessoa)/produtividade média anual (kg/ha));
- c. Calcular a área da Pegada Ecológica média *per capita* a partir da soma das áreas destinadas à produção de bens e serviços (calculados na etapa anterior);
- d. Calcular a área da Pegada Ecológica total mediante multiplicação da área da Pegada Ecológica média *per capita* pelo tamanho da população.

A PE tem como unidade de medida o “hectare global”/*global hectare* (gha), que corresponde a uma área (hectare) biologicamente produtiva com capacidade da produtividade média mundial (WACKERNAGEL *et al.*, 2005). Diferentemente da Produtividade Primária Líquida, em que a produção de biomassa fornece suporte à produção agrícola e respectiva manutenção da população, o hectare global representa o potencial máximo de produção agrícola com os recursos disponíveis (PEREIRA, 2008).

A fim de padronizar a produtividade por hectares em unidades de áreas globais, é necessário utilizar um fator de conversão denominado Fator de Equivalência (*Equivalence Fator*, EQF), que representa a produtividade média mundial de determinado espaço ecológico bioproductivo dividido pela produtividade média mundial de todos os espaços ecológicos produtivos. Áreas destinadas à maior produção de biomassa, cultivos, por exemplo, são mais produtivas, ao passo que uma área de pastagem, tem um fator de equivalência menor (MONTFREDA *et al.*, 2004). Os fatores de equivalência de cada categoria (cultivo, pastagem, área construída) derivam do índice de conveniência GAEZ (*Global Agro-Ecological Zones*), modelo espacial que dispõe os potenciais de produtividade agrícola mundial (IIAS e FAO, 2000).

Os valores de referência para cada categoria de consumo do EQF são pré-determinados e atualizados periodicamente, áreas com suposta baixa produtividade (desertos, geleiras, mar aberto etc.) são desconsideradas no cômputo da PE. Basicamente o EQF redistribui hectares reais em equivalentes hectares globais. Exemplo: um fator de equivalência para a categoria cultivo com valor EQF igual a 2,50 representa que cada hectare real cultivado é equivalente a

2,50 hectares globais (PEREIRA, 2008). Os fatores de equivalência são apresentados no Quadro 2.18:

Quadro 2.18 - Fatores de Equivalência - 2019

Fator de Equivalência - 2019	
Categoria	Fator de Equivalência
Cultivos	2,50
Floresta	1,28
Pastagens	0,46
Pesca - Marinha	0,37
Infraestrutura	2,50
Pesca - Interior	0,37
Carbono	1,28

Fonte: Adaptado de GFN, 2019.

Outro elemento essencial na aplicação da PE é o Fator de Produção/Rendimento/Produtividade (*Yield Factor*, YF), que representa a capacidade produtiva de determinado espaço ecológico bioprodutivo em relação à média mundial do espaço ecológico avaliado. Atualizado periodicamente, o YF salienta o quanto a área bioprodutiva de determinada localidade é mais ou menos produtiva que a média global de uma área equivalente. O fator de rendimento de cada país depende, dentre outros aspectos, do uso e disponibilidade de tecnologia nos meios de produção, nível de fertilidade do solo e fatores climáticos. Em condições edafoclimáticas semelhantes, países desenvolvidos tendem a apresentar maior eficiência (MONTFREDA *et al.*, 2004). O Quadro 2.19 traz alguns exemplos de fatores de produção calculados para o ano 2019.

Quadro 2.19 - Fatores de Produção - 2019

Fator de Produção - 2019						
País	Cultivos	Pastagem	Pesca - Marinha	Pesca - Interior	Florestas	Infraestrutura
Brasil	1,10	2,18	1,09	1,00	2,10	1,10
Alemanha	1,44	2,23	2,91	1,00	4,05	1,44
Japão	1,12	2,16	0,78	1,00	1,37	1,12
Finlândia	0,59	1,29	4,05	1,00	1,65	0,59
Iêmen	0,45	0,29	2,27	1,00	1,46	0,45
Mundo	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Fonte: Adaptado de GFN, 2019.

Visando verificar a sustentabilidade sob o contexto do método PE, deve-se analisar se a demanda antrópica por recursos naturais pode ser mantida sem exaurir a capacidade regenerativa do planeta (biocapacidade). O cálculo da biocapacidade consiste, basicamente, em multiplicar determinada área de produção pelo Fator de Produção (*Yield Factor*, YF), que representa a capacidade de produção de determinado espaço ecológico bioprodutivo em relação à média mundial do espaço ecológico avaliado. A fim de padronizar as unidades territoriais, a

produtividade obtida em hectares (ha) é multiplicada pelo Fator de Equivalência, obtendo como resultado o valor da biocapacidade em gha.

As Equações Eq. 13 e 14 apresentam os elementos utilizados para cálculo da Pegada Ecológica e Biocapacidade, respectivamente (CARMO, 2008):

$$\text{Pegada Ecológica} = [\sum (Ci / Mi) \times N \times Fe] \text{ (gha)} \quad (\text{Eq. 13})$$

Onde:

Ci: consumo médio *per capita* de cada bem; Mi: produtividade média mundial de cada bem; N = população; Fe: fator de equivalência, sendo este calculado mediante divisão da produtividade mundial de um tipo de área bioprodutiva pela produtividade mundial de todas as áreas bioprodutivas.

$$\text{Biocapacidade} = A \times Fe \times Fp \text{ (gha)} \quad (\text{Eq. 14})$$

Onde:

B: Biocapacidade; A: área local bioprodutiva existente; Fe: fator de equivalência; Fp: fator de produtividade local, calculado a partir da divisão entre a produtividade local de determinada área bioprodutiva pela produtividade global dessa mesma área.

A título demonstrativo, as Figura 2.7 e 2.8 apresentam elementos utilizados para cálculos da Pegada Ecológica e da Biocapacidade.

Figura 2.7 - Cálculo da Pegada Ecológica

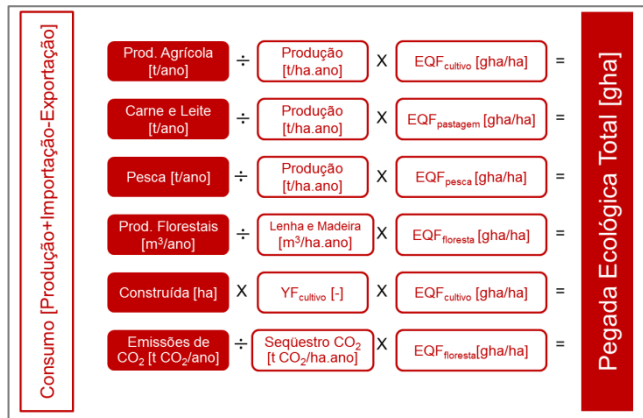
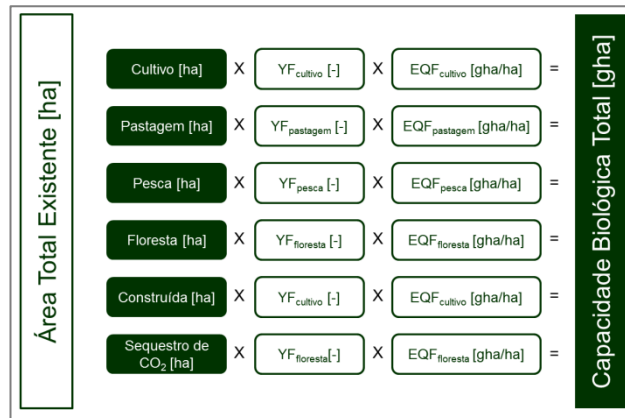


Figura 2.8 - Cálculo da Biocapacidade



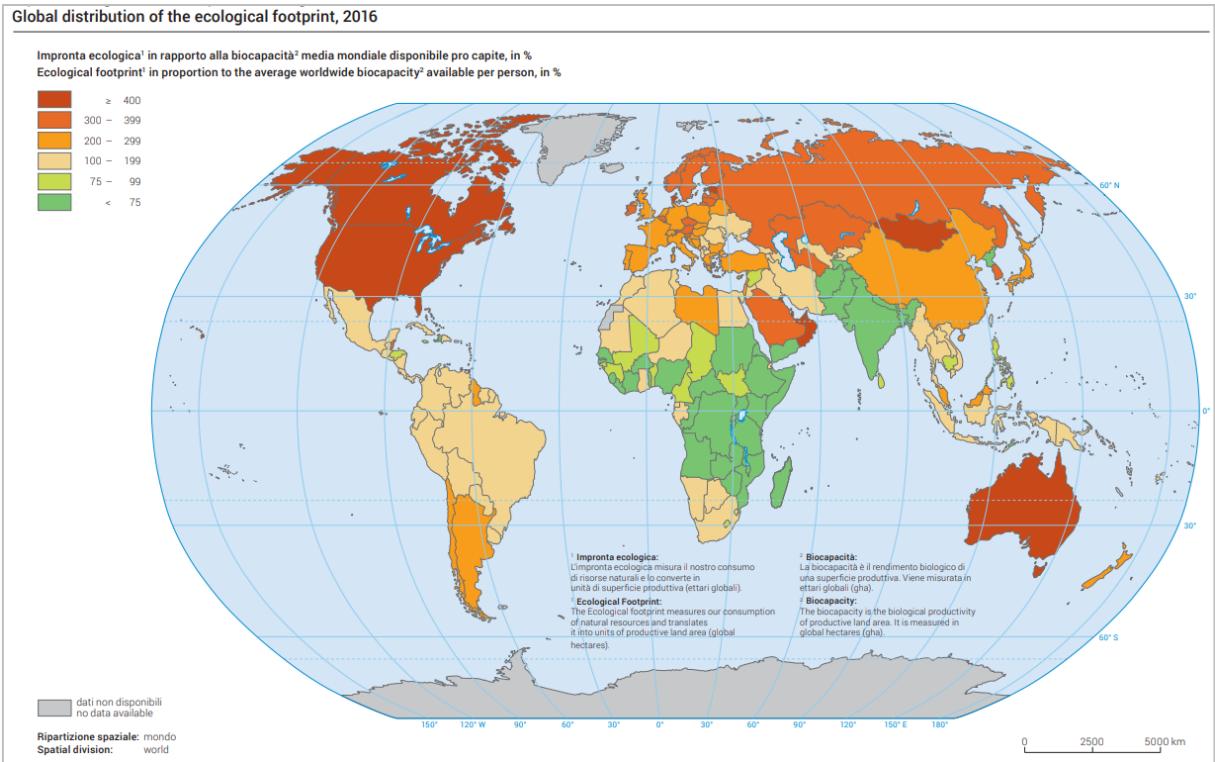
O saldo ecológico é obtido pela subtração da Biocapacidade pela Pegada Ecológica (Equação Eq. 15). Se a região avaliada apresentar Pegada Ecológica menor que a Biocapacidade, tem-se uma reserva ecológica, considerando o local sustentável. Caso contrário, tem-se um déficit ecológico, que representa insustentabilidade (MONFREDA *et al.*, 2004).

$$\text{Saldo Ecológico} = \text{Biocapacidade} - \text{Pegada Ecológica} \quad (\text{Eq. 15})$$

A aplicação da Pegada Ecológica, aparentemente em menor proporção em relação à década anterior, segue sendo amplamente difundida para avaliar as pressões sobre os recursos naturais oriundas de padrões de consumo humano em cidades dos mais variados perfis socioeconômicos. A Suíça foi um dos primeiros países do mundo a aplicar a Pegada Ecológica para avaliar os impactos dos padrões de consumo nacionais sobre a natureza, considerando um período amplo de mensuração, tendo como referência base o ano 1961. A ferramenta faz parte do sistema oficial de monitoramento do desenvolvimento sustentável no país, que publica relatórios de sustentabilidade anualmente. O maior valor da Pegada Ecológica foi registrado em 1990, quando cada cidadão suíço utilizou 6,47 gha. Nos últimos anos, têm sido evidenciadas reduções nos padrões de consumo e a última avaliação disponível do relatório de sustentabilidade, com dados de 2016, apresenta o valor da Pegada Ecológica suíça de 4,64 gha. Considerando a biocapacidade global no ano de referência (1,63 gha *per capita*), seriam necessários 2,85 planetas Terra caso a população mundial adotasse os mesmos padrões de consumo do país (GFN, 2019).

A Figura 2.9 apresenta o resultado da avaliação por meio da Pegada Ecológica de todos os países do mundo em 2016, sendo os países em tonalidade verde e amarelo claro os que exercem menor pressão sobre os recursos naturais, enquanto os países em tonalidade laranja e vermelho dispõem de menor nível de sustentabilidade. O país que apresentou menor Pegada Ecológica foi Timor-Leste, 0,50 gha por habitante, o maior valor foi obtido pelo Qatar, 14,41 gha por habitante, o Brasil registrou a marca de 2,81 gha por habitante.

Figura 2.9 - Aplicação da Pegada Ecológica – Países - 2016



Fonte: Adaptado de GFN, 2019.

A aplicação da Pegada Ecológica é realizada majoritariamente na escala de cidades e países, sendo ainda restrito o uso da ferramenta no escopo de bacias hidrográficas. No Brasil, em 2011 Monteiro (2010) avaliou cinco sub-bacias do Rio Xingu (MT), os resultados mostraram baixa pressão sobre os recursos locais: Ronuro (0,16 gha/habitante), Alto Xingu (0,18), Manissauá-Miçu (0,23), Médio Xingu (0,38), Suiá-Miçu (0,47). Conforme o esperado, as regiões com maior registro de atividades socioeconômicas, sub-bacias a jusante, apresentaram menor nível de sustentabilidade.

As principais vantagens e desvantagens do uso da PE são apresentados no Quadro 2.20:

Quadro 2.20 - Pegada Ecológica – Vantagens e desvantagens

Vantagens	Desvantagens
Sintético, permite a medição da performance e comparação entre diferentes regiões.	Foco na dimensão ambiental.
Alto nível de difusão internacional.	Limitações na abrangência das classes consideradas.
Reconhece a existência de limites biofísicos e desequilíbrios nas trocas ecológicas.	Cálculos complexos.
Auxilia em processos de tomada de decisão.	Classes de terra avaliadas têm função exclusiva.

Fonte: Adaptado de GLA, 2003.

2.5.2 Painel da Sustentabilidade (*Dashboard of Sustainability*)

O Painel da Sustentabilidade (*Dashboard of Sustainability*) foi desenvolvido em 1999 pelo *Consultative Group on Sustainable Development Indicator* (CGSDI), coordenado pelo *International Institute for Sustainable Development* (IISD). A ferramenta tem como propósito disponibilizar um método de avaliação da sustentabilidade com bom nível de aceitação no cenário internacional: *MDG Dashboard*, *software* livre, de uso não comercial. A ferramenta contempla indicadores de 230 países, distribuídos em quatro dimensões de análise: ambiental, econômica, social e institucional. A última versão do *software* tem como referência os indicadores contidos nos ODM. Contudo, a seleção dos indicadores deve se pautar pela experiência do pesquisador, análise da relevância dos mesmos na esfera geográfica avaliada e negociação entre as partes envolvidas (JESINGHAUS, 2019). O Quadro 2.21 apresenta a lista básica de referência:

Quadro 2.21 - Indicadores do Painel da Sustentabilidade

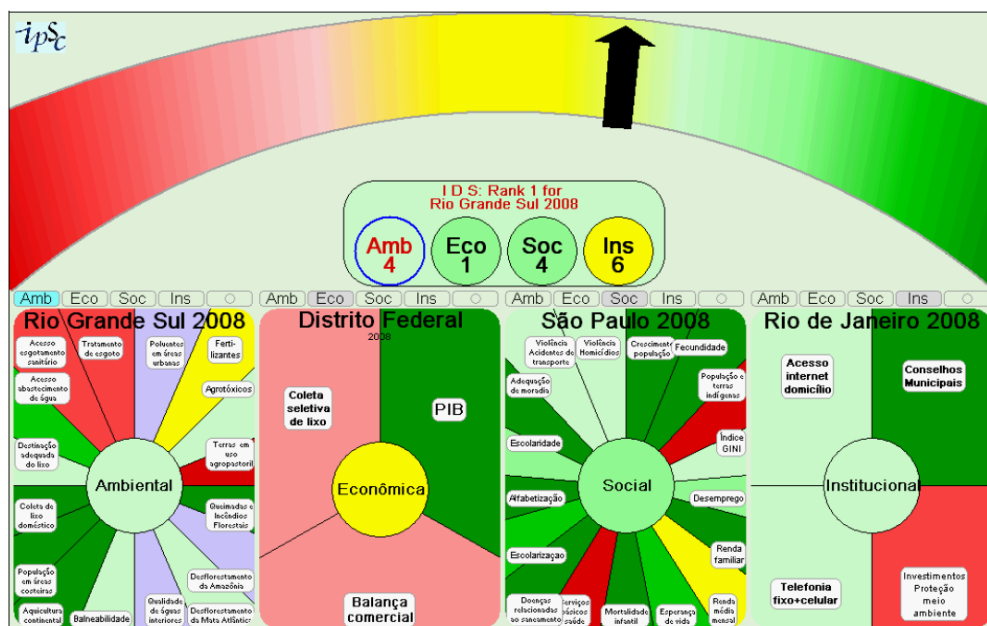
Dimensão	Indicadores		
Ambiental	- Emissão de gases estufa; - Consumo de substâncias destruidoras da camada de ozônio; - Concentração de poluentes atmosféricos; - Uso de fertilizantes;	- Área florestal; - Intensidade de corte de madeira; - Desertificação; - Moradias urbanas informais; - Aquicultura; - Uso de fontes de água renovável; - Terras aráveis;	- DBO dos corpos d'água; - Concentração de coliformes fecais em água potável; - Área de ecossistemas nativos; - Porcentagem de área protegida; - Presença de mamíferos e pássaros; - Uso de agrotóxicos;
Social	- População abaixo da linha de pobreza; - Taxa de desemprego; - Relação do rendimento médio mensal por sexo; - Desnutrição infantil; - Taxa de mortalidade infantil; - Esperança de vida;	- Tratamento adequado de esgoto; - Imunização contra doenças infecciosas infantis; - Taxa de uso de métodos contraceptivos; - Crianças que alcançam a 5ª série do Ensino Fundamental; - Adultos que concluíram o Ensino Médio;	- Acesso ao sistema de abastecimento de água; - Acesso à saúde; - Taxa de alfabetização; - Área construída (<i>per capita</i>); - Taxa de homicídios; - Crescimento populacional (taxa); - Nível de urbanização;
Econômica	- PIB (<i>per capita</i>); - Investimento; - Balança comercial; - Dívida externa;	- Consumo comercial de energia; - Fontes renováveis de energia; - Uso de energia; - Disposição adequada de resíduos sólidos;	- Geração de resíduos perigosos; - Geração de resíduos nucleares; - Reciclagem; - Meios de transporte particulares; - Empréstimos;
Institucional	- Implementação de estratégias para o DS; - Relações intergovernamentais ambientais;	- Linhas telefônicas; - Despesas com pesquisa e desenvolvimento; - Perdas humanas devido a desastres naturais;	- Danos econômicos devido a desastres naturais; - Acesso à Internet.

Fonte: Adaptado de Krama, 2008.

A partir do *software MDG Dashboard*, interface disponível na Figura 2.10, os dados de indicadores são compilados e calculados, tendo como resultado o nível de sustentabilidade do objeto em estudo, que pode abranger diferentes escalas espaciais (países, estado, cidade etc.) e também analisar escopos mais restritivos (empreendimentos, serviços etc.). Os resultados são

apresentados de forma simplificada e de fácil compreensão em uma interface visual que faz alusão a um painel automotivo e seus respectivos instrumentos indicadores, fornecendo informações quantitativas e qualitativas sobre o progresso em direção à sustentabilidade. A ferramenta auxilia em processos de tomadas de decisão, permitindo avaliar estratégias de desenvolvimento e proposição de metas (VAN BELLEN, 2006).

Figura 2.10 - Painel da Sustentabilidade: modo de exibição dos resultados



Fonte: Krama, 2008.

O primeiro passo na aplicação do Painel da sustentabilidade consiste em selecionar os indicadores de interesse e organizá-los em suas respectivas dimensões (ambiental, social, econômica, institucional). Cada indicador selecionado é calculado pela equação Eq. 16, na qual os valores obtidos variam entre 0 (crítico) e 1.000 (excelente), sendo que a performance do indicador também é apresentada de forma gráfica em escala de cores que oscilam entre vermelho-escuro (crítico) e verde-escuro (excelente), Figura 2.11. Em seguida, por meio da média aritmética calcula-se o valor da respectiva dimensão na qual o indicador foi classificado. Por fim, obtém-se um índice de sustentabilidade global, denominado Índice de Desenvolvimento Sustentável (*Sustainable Development Index*, SDI), resultante da média aritmética dos valores obtidos nas dimensões avaliadas (VAN BELLEN, 2006).

$$\text{Resultado do Indicador} = 1000 \cdot \frac{(X - \text{pior})}{(\text{melhor} - \text{pior})} \quad (\text{Eq. 16})$$

Onde, X: valor da variável avaliada; pior: menor valor verificado para a variável; melhor: maior valor identificado para a variável.

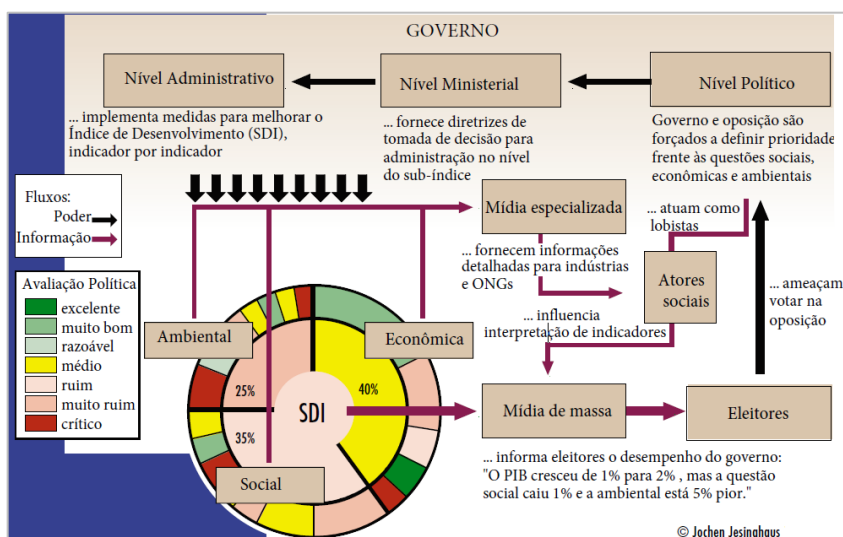
Figura 2.11 - Escala: Painel da Sustentabilidade

Escala de Cores	Grau de Sustentabilidade	Intervalo de pontos
	Excelente	889 - 1000
	Muito bom	778 - 888
	Bom	667 - 777
	Razoável	556 - 666
	Médio	445 - 555
	Ruim	334 - 444
	Muito ruim	223 - 333
	Atenção severa	111 - 222
	Estado crítico	0 - 110
	Sem dados	

Fonte: Krama, 2008.

O Painel da Sustentabilidade e seus respectivos indicadores têm grande potencial para informar tomadores de decisão e influenciar a opinião pública por meio da mídia e sociedade civil, o que pode resultar em maior pressão sobre processos eleitorais e governos, ao mesmo tempo que podem fortalecer e dar suporte para a implementação de ferramentas de mensuração, políticas e práticas que visem ao desenvolvimento sustentável (UNESCO-ESCOPE, 2006). A Figura 2.12 apresenta os fluxos básicos de informação relacionados ao Painel da Sustentabilidade.

Figura 2.12 - Fluxo de Informação no Painel da Sustentabilidade



Fonte: Adaptado de UNESCO-ESCOPE, 2006.

O uso do Painel da Sustentabilidade é mais evidenciado no contexto territorial de municípios, estados e países. Fonseca (2010) utilizou a ferramenta para avaliar a sustentabilidade de oito municípios brasileiros, tendo obtido os seguintes resultados: Barreirinha/AM (480; Médio); Anapu/AM (408; Ruim), Faro (485; Médio), Novo Progresso/AM (533; Médio), Rurópolis/AM

(372; Ruim), São Félix do Xingu/PA (572; Razoável), Matupá/MT (339; Ruim) e Nova Mutum/MT (565; Razoável). No âmbito de avaliações em escalas nacional e estadual, Krama (2009) realizou um estudo para mensurar a sustentabilidade dos 27 estados brasileiros, Rio Grande do Sul apresentou a melhor performance (649 pontos; Razoável) e Alagoas a pior (271; Muito Ruim), a avaliação do Brasil registrou 444 pontos, nível de sustentabilidade ruim.

Na escala de bacia hidrográfica, Reis (2010) aplicou o PS para avaliar a bacia do Rio Cuiá (João Pessoa/PB), identificando a deterioração das condições ambientais, especialmente dos recursos hídricos, e fragilidades socioeconômicas decorrentes do elevado nível de urbanização da região.

O Quadro 2.22 apresenta algumas das vantagens e desvantagens no uso do Painel da Sustentabilidade:

Quadro 2.22 - Painel da Sustentabilidade – Vantagens e desvantagens

Vantagens	Desvantagens
Resultados gráficos, objetivos e de fácil entendimento.	Elevada subjetividade na seleção dos indicadores.
Participação dos atores envolvidos na escolha das variáveis.	Requer elevado número de localidades/dados para prover resultados mais robustos.
Permite identificar problemas endêmicos.	Dificuldade de configuração do software.
Software disponível para aplicação (<i>MDG Dashboard</i>).	
Alta sensibilidade às variações dos indicadores selecionados.	

Autor, 2020.

2.5.3 Barômetro da Sustentabilidade (*Barometer of Sustainability*)

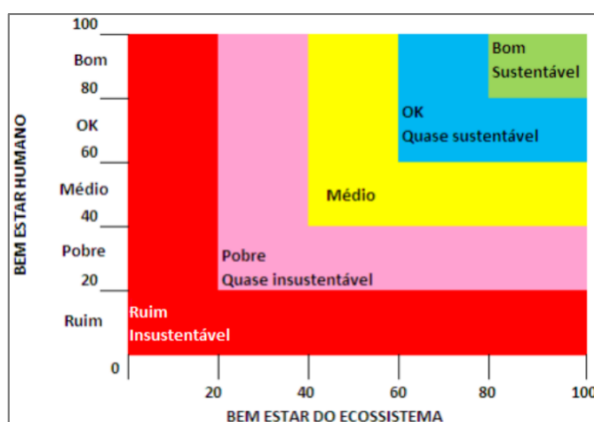
Desenvolvido por Prescott-Allen em 1997 com apoio da *World Conservation Union* (WCU) e *International Development Research Centre* (IDRC), o método Barômetro da Sustentabilidade (*Barometer of Sustainability*) permite medir e comunicar o bem-estar de uma sociedade e o progresso em direção ao desenvolvimento sustentável por meio da integração de indicadores biofísicos e sociais. Os indicadores são organizados de forma sistemática e combinados, sendo os resultados apresentados graficamente, sintetizando a situação em relação à sustentabilidade do objeto em estudo. O sistema adota uma abordagem holística, integrando bem-estar humano e bem-estar ecológico, assim permitindo análises comparativas e fomentando processos de tomadas de decisão (PRESCOTT-ALLEN, 1999).

Entende-se como bem-estar humano a condição em que todos os cidadãos dispõem de recursos para satisfazer suas necessidades e garantir um modo de vida digno, permitindo usufruir dos meios para atingir seu potencial de desenvolvimento. O bem-estar ecológico refere-se à

condição na qual o ecossistema é capaz de fornecer recursos à sociedade e a organismos vivos em quantidade e qualidade suficientes, ao mesmo tempo em que é respeitado seu processo de manutenção, regeneração e adaptação para atender às futuras gerações (GUIJT & MOISEEV, 2001).

O método Barômetro da Sustentabilidade (BS) considera que as pessoas estão inseridas e interagem diretamente com o ecossistema, de modo que as dimensões humana e ecológica devem ser avaliadas de modo paralelo e têm o mesmo nível de importância (LOUETTE, 2007). O BS é calculado sob as dimensões denominadas Índice de Bem-estar Humano e Índice de Bem-estar Ecológico, sendo que os valores dos índices variam de 0 a 100, distribuídos em cinco níveis, cada qual corresponde a uma cor e padrão de sustentabilidade (Figura 2.13): vermelho (0 – 20, insustentável), rosa (20 – 40, quase insustentável), amarelo (40 – 60, médio), azul (60 – 80, quase sustentável) e verde (80 – 100, sustentável), os resultados são apresentados de forma gráfica, assim, facilitando a comunicação e compreensão (BELLEN, 2004; PRESCOTT-ALLEN, 1997).

Figura 2.13 - Escala Gráfica do Barômetro da Sustentabilidade

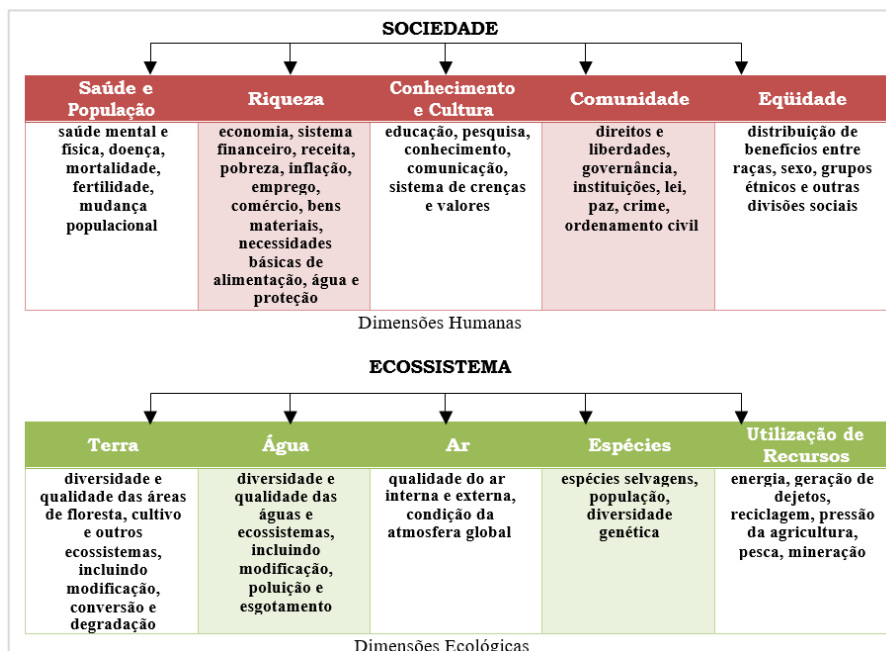


Fonte: Bellen, 2006.

A ferramenta pode ser aplicada em diferentes escalas geográficas (local, regional, nacional) e não determina um número fixo de indicadores, sendo que o processo de seleção dos mesmos deve estar vinculado aos objetivos e metas de cada estudo. Recomenda-se que os indicadores selecionados sejam agrupados, quando possível e plausível, em dois eixos com cinco subgrupos de indicadores cada (Figura 2.14): Dimensão Humana (Saúde e População, Riqueza, Conhecimento e Cultura, Equidade, Comunidade), que representa a sociedade e suas necessidades frente às questões de saúde, pobreza, educação, renda, segurança, dentre outras; e Dimensão Ecológica (Terra, Água, Ar, Espécies, Uso de Recursos), representando as

tendências de esgotamento ou manutenção dos recursos naturais em função do tempo (PRESCOTT-ALLEN, 1999; BELLEN, 2006; CARVALHO, 2012; OLIVEIRA *et al.*, 2015).

Figura 2.14 - Dimensões para a Construção do Barômetro da Sustentabilidade

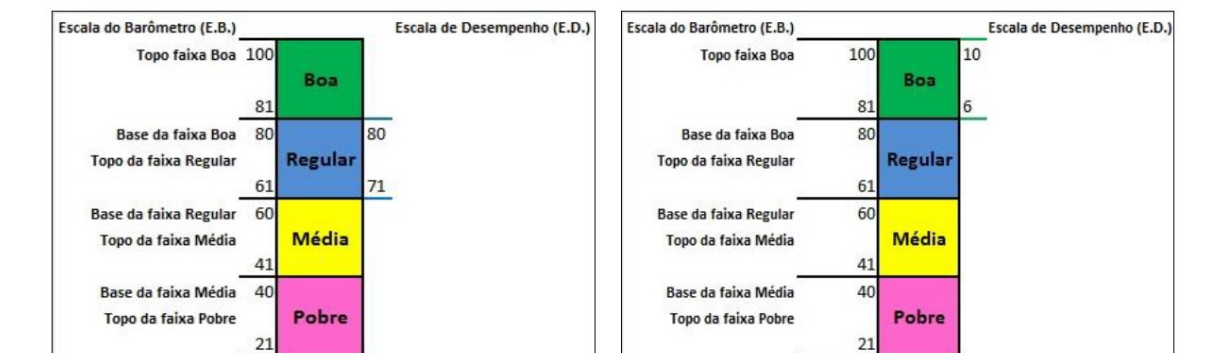


Fonte: Adaptado de Van Bellen, 2006.

Após a seleção dos indicadores, deve-se converter o valor real de cada indicador para um valor correspondente na Escala do Barômetro da Sustentabilidade (EB), sendo que a faixa de desempenho da EB apresenta o mesmo padrão de pontuação citado anteriormente. O processo consiste basicamente em normalizar valores de diferentes indicadores, normalmente dispostos em unidades e escalas diversas, tornando-os comparáveis e passíveis de cálculos e manipulação em uma escala de valores com referência comum.

Para projetar um indicador na EB, o primeiro passo é estabelecer uma Escala de Desempenho (ED) para cada indicador, que significa comparar o valor real do indicador analisado com valores (máximo e mínimo) de referência e relevância. Na sequência, a partir da diferença observada entre o maior e menor valor, é obtido o intervalo, que será dividido em cinco partes iguais e servirá de base para a projeção da ED na EB. O desempenho de um indicador pode ser melhor para valores pequenos (ex.: mortalidade infantil) ou valores elevados (ex.: população atendida por sistema de saneamento básico), deste modo, há duas diferentes formas de obter os valores dos indicadores que serão projetados na ED e EB (Figura 2.15):

Figura 2.15 – À Esquerda (Exemplo de indicador cujo melhor valor é o máximo, plotado na escala de desempenho) / À Direita (Exemplo de indicador cujo melhor valor é o máximo, plotado na escala de desempenho)



Fonte: Fonseca, 2013.

O passo seguinte é efetuar o cálculo do indicador na EB a partir da equação Eq. 17:

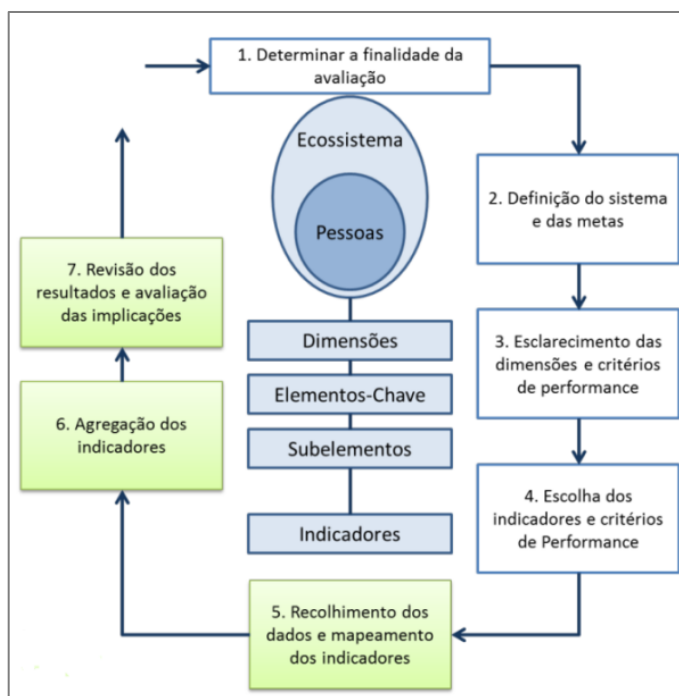
$$BSx = \left\{ \left[\frac{(EDa - VRind) \times (EBa - EBp)}{(EDa - EDp)} \right] \times (-1) \right\} + EBa \quad (\text{Eq. 17})$$

Onde **BSx**: valor do indicador projetado na Escala do Barômetro; **EDa**: valor da faixa de classificação anterior na Escala de Desempenho; **VRind**: valor real do indicador; **EBa**: valor da faixa de classificação anterior na Escala do Barômetro; **EBp**: valor da faixa de classificação posterior na Escala do Barômetro; **EDp**: valor da faixa de classificação posterior na Escala de Desempenho.

Após o cálculo do valor de cada indicador por meio da equação Eq. 17, obtém-se o nível de sustentabilidade dos grupos nos quais os indicadores estão inseridos a partir da média aritmética. Em seguida, calculando a média aritmética obtida a partir dos grupos que estão inseridos nas dimensões Bem-estar Humano e Ecológico, obtém-se os valores finais da sustentabilidade nas respectivas dimensões. O índice global é disponibilizado pela ferramenta sob modo gráfico, resultante da interseção entre os valores obtidos nas dimensões Bem-estar Humano (eixo Y) e Ecológico (eixo X), indicando o nível de sustentabilidade do sistema.

O fluxo básico de aplicação do BS, apresentado na Figura 2.17, sugere um processo hierarquizado, iniciado pela definição de finalidades e metas, seguido das etapas de seleção de indicadores mensuráveis, definição de critérios de performance e cômputo dos índices de bem-estar humano e ecológico (VAN BELLEN, 2006).

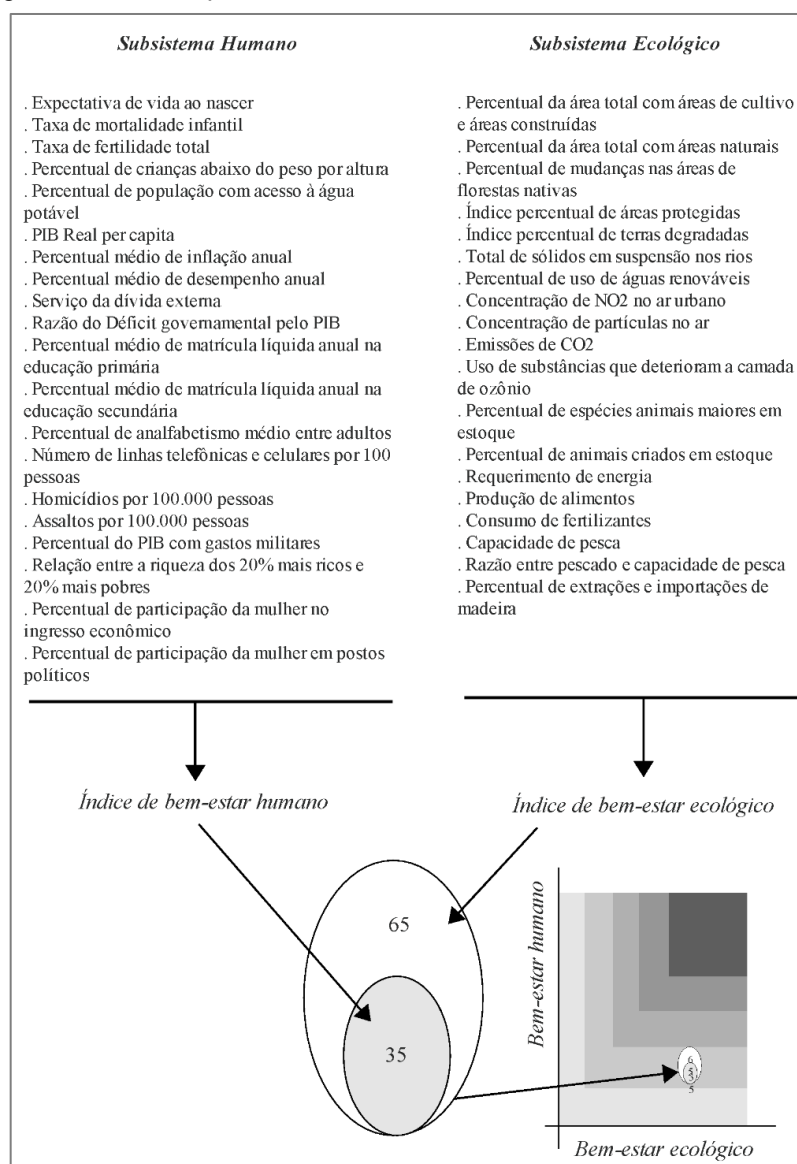
Figura 2.16 - -- Fluxo do Barômetro da Sustentabilidade



Fonte: Adaptado de Van Bellen, 2006.

De acordo com Kronemberger (2008), quanto maior o número de dados e indicadores por tema, mais robusto será o resultado da avaliação da sustentabilidade pela ferramenta. A Figura 2.16 apresenta um exemplo da aplicação do BS tendo como subsídios indicadores organizados diretamente nas dimensões Bem-estar Humano e Ecológico:

Figura 2.17 - Exemplo de Indicadores do Barômetro da Sustentabilidade



Fonte: Souto, 2011.

Os resultados obtidos pelo BS podem ser sintetizados de forma numérica pelo Índice de Bem-estar Geral (IBG), calculado por meio das equações Eq. 18 e 19. Valor de IBG igual a 1 significa que o estresse causado no ecossistema é equivalente ao bem-estar humano (sustentável), valor abaixo de 1 representa que a pressão humana sobre o ecossistema extrapola a capacidade de manutenção de recursos naturais (insustentabilidade) (PRESCOTT-ALLEN, 1999).

- **Índice de Estresse Ambiental (IEA):** representa o estresse sofrido pelo meio ambiente. Obtido por meio da equação Eq. 18:

$$IEA = 100 - IBE \quad (\text{Eq. 18})$$

Onde **IEA**: Índice de Estresse Ambiental; **IBE**: Índice de Bem-estar Ecológico (calculado no cômputo do BS).

- **Índice de Bem-estar Geral**: evidencia a relação entre o custo de se obter o bem-estar humano frente ao estresse ecológico causado. Calculado por meio da equação Eq. 19:

$$IBG = IBH / IEA \quad (\text{Eq. 19})$$

Onde: **IBG**: Índice de Índice de Bem-estar Geral; **IBH**: Índice de Bem-estar Humano (calculado no cômputo do BS); **IEA**: Índice de Estresse Ambiental.

O Barômetro da Sustentabilidade tem maior registro de aplicações nas delimitações de cidades, estados e países. Kronemberger (2008) avaliou o nível de sustentabilidade do Brasil com a ferramenta, os resultados obtidos para Bem-estar Humano e Ecológico foram de 44 (intermediário) e 40,3 (intermediário), respectivamente, sintetizando o Bem-estar Global de sustentabilidade nacional como intermediário. Para escala estadual, Dalchiavon *et al.* (2017) analisaram os estados da Região Sul, os valores registrados para a dimensão Humana (H), Ecológica (E) e Sustentabilidade Global (G) calculados foram: Paraná (H: 56,55; E: 56,13; Intermediário); Santa Catarina (H: 61,38; E: 58,65; Intermediário); Rio Grande do Sul (H: 65,14; E: 62,82; Alto).

No âmbito de bacias hidrográficas urbanas, Fonseca (2013) avaliou a sustentabilidade da microbacia do córrego do Caju, cidade de Cuiabá (MT), o nível mensurado para o Bem-estar Humano foi 35 e Bem-estar Ecológico obteve pontuação igual a 37, resultando em nível de sustentabilidade classificado como pobre.

Algumas das vantagens e aspectos limitantes na aplicação do Barômetro da Sustentabilidade são descritos no Quadro 2.23:

Quadro 2.23 - Barômetro da Sustentabilidade – Vantagens e desvantagens

Vantagens	Desvantagens
Resultados gráficos, objetivos e de fácil entendimento.	A escala de performance apresenta alta subjetividade.
Participação dos atores envolvidos na escolha das variáveis.	Baixa sensibilidade do resultado às variações dos indicadores que compõem o índice.
Permite comparar diferentes localidades de maneira prática e verificar o nível de desempenho ambiental.	Requer elevado número de indicadores para fornecer melhor acurácia.
Possibilita agregar indicadores divergentes sem comprometer de forma significativa os resultados de avaliação.	

Autor, 2019.

2.5.4 Índice de Sustentabilidade de Bacia Hidrográfica (WSI – *Watershed Sustainability Index*)

O *Watershed Sustainability Index* (WSI), Índice de Sustentabilidade de Bacia Hidrográfica, foi desenvolvido por Chaves & Alipaz em 2007. A ferramenta tem lista fixa de indicadores (15), sendo estes avaliados sob as dimensões recomendadas pela UNESCO (2001), HELP: *hidrology* (hidrologia), *environnment* (meio ambiente), *life* (vida), *policy* (política/institucional). Os indicadores são categorizados sob a perspectiva da metodologia de avaliação Pressão-Estado-Resposta (PER), desenvolvida em 1993 (atualizada em 2003) pela OCDE, onde: Pressão (P) representa atividades, empreendimentos, objetos e ações que exercem algum tipo de pressão sobre os recursos naturais; Estado (E) representa o atual nível de qualidade/estado dos recursos naturais; Resposta (R) representa as ações ou políticas adotadas/executadas para preservar a área de estudo ou mitigar impactos negativos da degradação ambiental.

A Figura 2.18 apresenta as variáveis que integram o WSI em seus respectivos processos:

Figura 2.18 – WSI: Indicadores, Modelo Pressão-Estado-Resposta



Fonte: Autor, 2020.

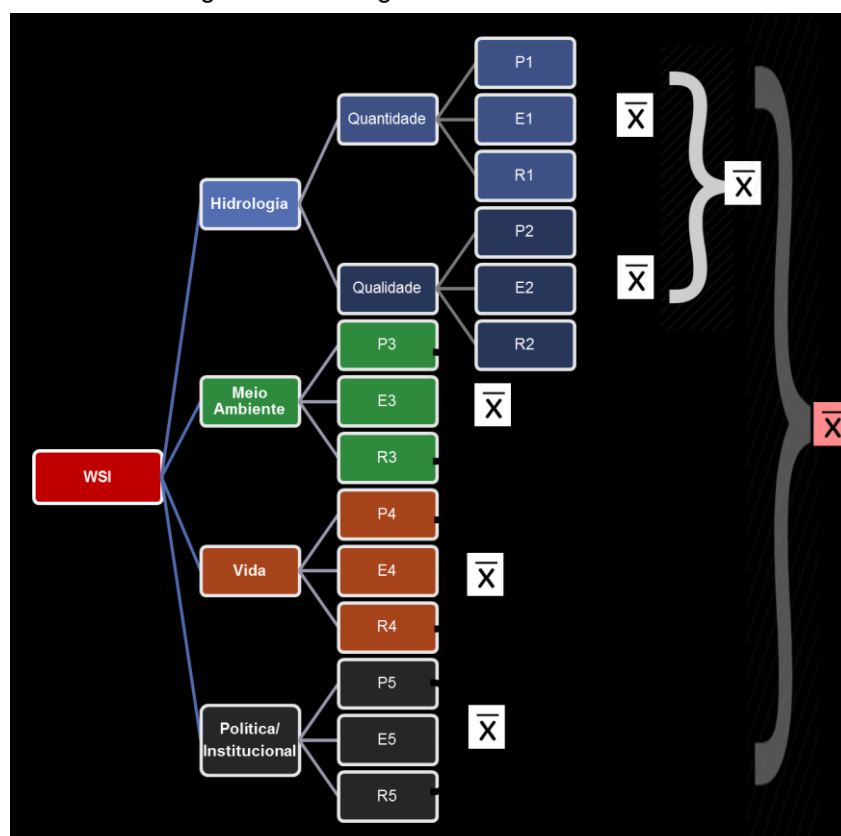
O WSI tem metodologia muito clara e definida, aplicada com base em informações de alta disponibilidade e facilidade de replicação/comparação. O método de cálculo é simplificado, conferindo pesos iguais para cada indicador/dimensão, conforme a equação Eq. 20:

$$\text{WSI} = (H + E + L + P) / 4 \quad (\text{Eq. 20})$$

Onde, H: *hidrology* (hidrologia); E: *environment* (meio ambiente); L: *life* (vida); P: *policy* (política/institucional).

Os parâmetros dos indicadores que compõem o WSI recebem uma pontuação que pode oscilar entre cinco níveis (0 – muito ruim; 0,25; 0,50; 0,75 e 1,00 – excelente). Os valores de referência para a pontuação das variáveis são fixos e foram determinados conforme experiência dos autores, criteriosa seleção de indicadores e parâmetros relacionados às bacias hidrográficas, eles são apresentados no item 3.5 desta pesquisa, que detalha a metodologia da ferramenta. A Figura 2.19 apresenta o diagrama de cálculo do WSI.

Figura 2.19 - Diagrama de Cálculo do WSI



Onde:

P: Pressão / E: Estado / R: Resposta

P1- Variação da disponibilidade hídrica *per capita* da bacia no período.

E1- Disponibilidade hídrica *per capita* na bacia (média de longo período).

R1- Melhorias na eficiência do uso da água no período

P2- Variação da DBO5 na bacia no período.

E2- DBO5 na bacia (média de longo período).

R2- Melhorias no tratamento/disposição de esgoto no período

P3- EPI da bacia (Rural e Urbano) no período

E3- % da área da bacia com cobertura vegetal natural.

R3- Evolução das áreas de conservação na bacia no período.

P4- Variação do PIB *per capita* na bacia no período.

E4- IDH da bacia (medido pela população).

R4- Evolução do IDH da bacia no período.

P5- Variação do IDH-Educação na bacia no período.

E5- Capacidade institucional e de gestão de recursos hídricos na bacia.

R5- Evolução dos gastos com gestão de recursos hídricos na bacia.

Fonte: Autor, 2020.

O primeiro passo da aplicação do WSI consiste em identificar e selecionar os indicadores/parâmetros de interesse e categorizá-los de acordo com a etapa do processo ao qual se enquadram: Pressão, Estado ou Resposta. A seguir, os parâmetros são aninhados nos grupos de indicadores hidrologia, meio ambiente, vida ou política/institucional.

O passo seguinte consiste em atribuir pontuação a todos os parâmetros distribuídos nas dimensões do HELP (cada dimensão do HELP é calculada pela média simples da pontuação identificada pelos parâmetros dos respectivos grupos que o compõem, permitindo a identificação dos aspectos mais fragilizados na bacia hidrográfica). Por fim, é determinado o cálculo global do WSI, obtido pela média simples da soma dos valores obtidos em cada grupo do HELP, onde o nível de sustentabilidade da bacia em estudo é classificado em baixo ($WSI < 0,5$), intermediário ($0,5 \geq WSI \leq 0,8$) ou alto ($WSI > 0,8$).

A área máxima para aplicação do WSI é 2.500 km², apresentando resultados mais plausíveis em escalas locais ou regionais, para regiões de grande extensão recomenda-se que a área em estudo seja subdividida, formando sub-bacias para serem analisadas separadamente (CHAVES & ALIPAZ, 2007).

Nos últimos anos a aplicação do WSI tem sido mais difundida, embora a complexidade de implementação seja simplificada, os resultados de avaliação têm apresentado coerência às realidades das localidades estudadas. Abaixo dois exemplos que utilizaram a ferramenta para diagnóstico e mensuração da sustentabilidade:

- **Bacia do rio Reventazón (Costa Rica):** o rio *Reventazón* está entre os mais poluídos da Costa Rica e a bacia contempla uma população de mais de 400 mil habitantes, os principais problemas identificados foram a poluição dos recursos hídricos, gestão de resíduos deficitária e o uso intensivo de agrotóxicos. A bacia foi dividida em três regiões para aplicação do WSI que obtiveram avaliação 0,74, 0,73 e 0,74, correspondendo ao nível médio de sustentabilidade (CATANO *et al.*, 2009).
- **Bacia do rio Elqui (região semiárida do Chile):** aplicação da ferramenta demonstrou sua praticidade e potencial para auxiliar no diagnóstico e processos de tomadas de decisão. A maior fragilidade identificada foi a dimensão hidrológica, quesito escassez hídrica. As

dimensões ambiental e política/institucional apresentaram bons resultados. O resultado do WSI para a bacia foi 0,61, sustentabilidade intermediária (CORTÉS *et al.*, 2012).

As principais vantagens e desvantagens do WSI são apresentadas no Quadro 2.24:

Quadro 2.24 - WSI – Vantagens e desvantagens

Vantagens	Desvantagens
Resistência à variação do índice de sustentabilidade frente aos impactos promovidos por alterações nos parâmetros de indicadores.	Menor sensibilidade para identificar problemas locais específicos da região em estudo.
Promoção da interdisciplinaridade e diálogo entre profissionais na aplicação do índice.	Utilização de variáveis pré-definidas, restringindo participação da comunidade interessada no processo de avaliação da sustentabilidade.
Cálculo e metodologia simplificada permitem comparar os resultados da aplicação com outras metodologias. Por isso os indicadores são por vezes de fácil aquisição (cálculo).	Restrição de aplicação em bacias hidrográficas de até 2.500 km ² , sendo inferior neste quesito às metodologias mais difundidas.
Uso de indicadores e parâmetros de fácil obtenção.	
Identifica de forma coesa as dimensões mais críticas de determinada região, permitindo definir ações prioritárias e planejamento.	

Autor, 2020.

2.5.5 Síntese das Características das Ferramentas PE, PS, BS e WSI

Uma análise sucinta das ferramentas PE, PS, BS e WSI evidencia seus potenciais para auxiliar no diagnóstico socioambiental e processos de tomadas de decisão, ao passo que também salienta lacunas e fragilidades. As principais características encontram-se sintetizadas no Quadro 2.25.

Quadro 2.25 - Análise Comparativa das Ferramentas PE, PS, BS e WSI

Análise Comparativa das Ferramentas de Mensuração da Sustentabilidade				
Categoria de Análise	Pegada Ecológica	Painel da Sustentabilidade	Barômetro da Sustentabilidade	WSI
Dimensões	Ecológica	Ambiental, Social, Econômica, Institucional	Humana, Ecológica	Ambiental, Hidrologia, Vida, Institucional
Esfera	Global/Continental Nacional Regional Local Organizacional Individual	Continental, Nacional, Regional, Local	Global Continental Nacional Regional	Regional Local
Tipologia de Dados	Quantitativos	Quantitativos	Quantitativos	Quantitativos
Agregação de Dados	Alto Nível	Alto Nível	Alto Nível	Moderada
Participação Social	Abordagem <i>Top-down</i>	Abordagem mista <i>Top-down/Bottom-up</i>	Abordagem mista <i>Top-down/Bottom-up</i>	Abordagem <i>Top-down</i>
Subjetividade	Baixa	Média	Média	Baixa
Complexidade de Aplicação	Elevada	Média	Média	Simples
Identificação (Relação Causa-Efeito)	Moderada	Baixa/Moderada	Baixa	Moderada
Análise Temporal	Estática	Estática/Dinâmica	Estática	Dinâmica
Apresentação dos Resultados	Simples	Simples, uso de recursos visuais	Simples, uso de recursos visuais	Simples
Potencial Educativo	Forte impacto sobre público-alvo	Impacto maior sobre tomadores de decisão	Impacto maior sobre tomadores de decisão	Impacto maior sobre tomadores de decisão

Fonte: Adaptado de VAN BELLEN, 2006; Autor, 2020.

Observa-se que todas as ferramentas analisadas contemplam o escopo de bacias hidrográficas, sendo a PE a mais abrangente e a WSI a mais restritiva. Quanto às dimensões, apenas PS contempla as quatro dimensões recomendadas pela ONU (ambiental, social, econômica e institucional). Isto não configura, necessariamente, um fator restritivo, dado que ao longo das análises da literatura e experiências empíricas observadas no desenvolvimento desta pesquisa os autores têm buscado implementar adaptações, de modo que estas dimensões sejam contempladas, especialmente no caso das ferramentas WSI e BS, onde estes aspectos têm demonstrado maior razoabilidade. A PE ainda apresenta sérias restrições no escopo dimensional, sendo que algumas experiências têm inserido o IDH (Índice de Desenvolvimento Humano) como componente de avaliação na tentativa de ampliar o escopo estritamente ecológico da ferramenta.

A respeito da análise temporal, os métodos PE e BS são aplicados para um período específico, estático, ao passo que refletem a realidade local em dado momento; PS pode ser aplicado sob análise temporal estática ou dinâmica; a WSI contempla a variação em determinado período, dinâmico, assim permitindo identificar tendências e favorecendo a identificação de relações causa-efeito. A complexidade de aplicação das ferramentas é maior para a PE e menor para a WSI, sendo que PS e BS apresentam dificuldade intermediária.

A apresentação dos resultados é simplificada em todos os métodos, trazendo recursos visuais mais elucidativos nas ferramentas PS e BS. A PE, por ser a ferramenta mais difundida e, ainda, explorada comercialmente, apresenta maior influência sobre a opinião pública, ao passo que PS, BS e WSI têm enfoque mais restritivo neste quesito, com impactos e resultados mais relevantes para tomadores de decisão (VAN BELLEN, 2006).

No quesito participação social, a PE e o WSI foram concebidos pela abordagem *top-down* (indicadores e metodologias de cálculos estabelecidos majoritariamente por técnicos, especialistas e acadêmicos) em face à abordagem *bottom-up* (que inclui a participação da comunidade nos processos de criação das ferramentas e seleção de indicadores). A abordagem mista *top-down/bottom-up* foi utilizada pelas ferramentas PS e BS, de modo a mesclar parâmetros técnicos com interesses da comunidade, por vezes divergentes (VAN BELLEN, 2006; ROHAN *et al.*, 2018).

Não faz parte do escopo desta pesquisa analisar de forma aprofundada as potencialidades e limitações das ferramentas PE, PS e BS no contexto teórico, tendo em vista que estudos sob esta abordagem já foram muito bem explorados por Van Bellen (2002, 2006), Rohan *et al.* (2018), dentre outros. Sendo assim, as análises aqui apresentadas têm como direcionamento o processo empírico de aplicação das ferramentas na delimitação geográfica de bacias hidrográficas, especificamente a sub-bacia do Ribeirão Onça.

3. A SUB-BACIA DO RIBEIRÃO DO ONÇA COMO UNIDADE DE ANÁLISE

Neste tópico é caracterizada a área de estudo, sub-bacia do Ribeirão Onça, buscando fornecer elementos e análises complementares aos itens disponíveis no PDRH-Velhas (2015), base referencial de dados utilizados nesta pesquisa.

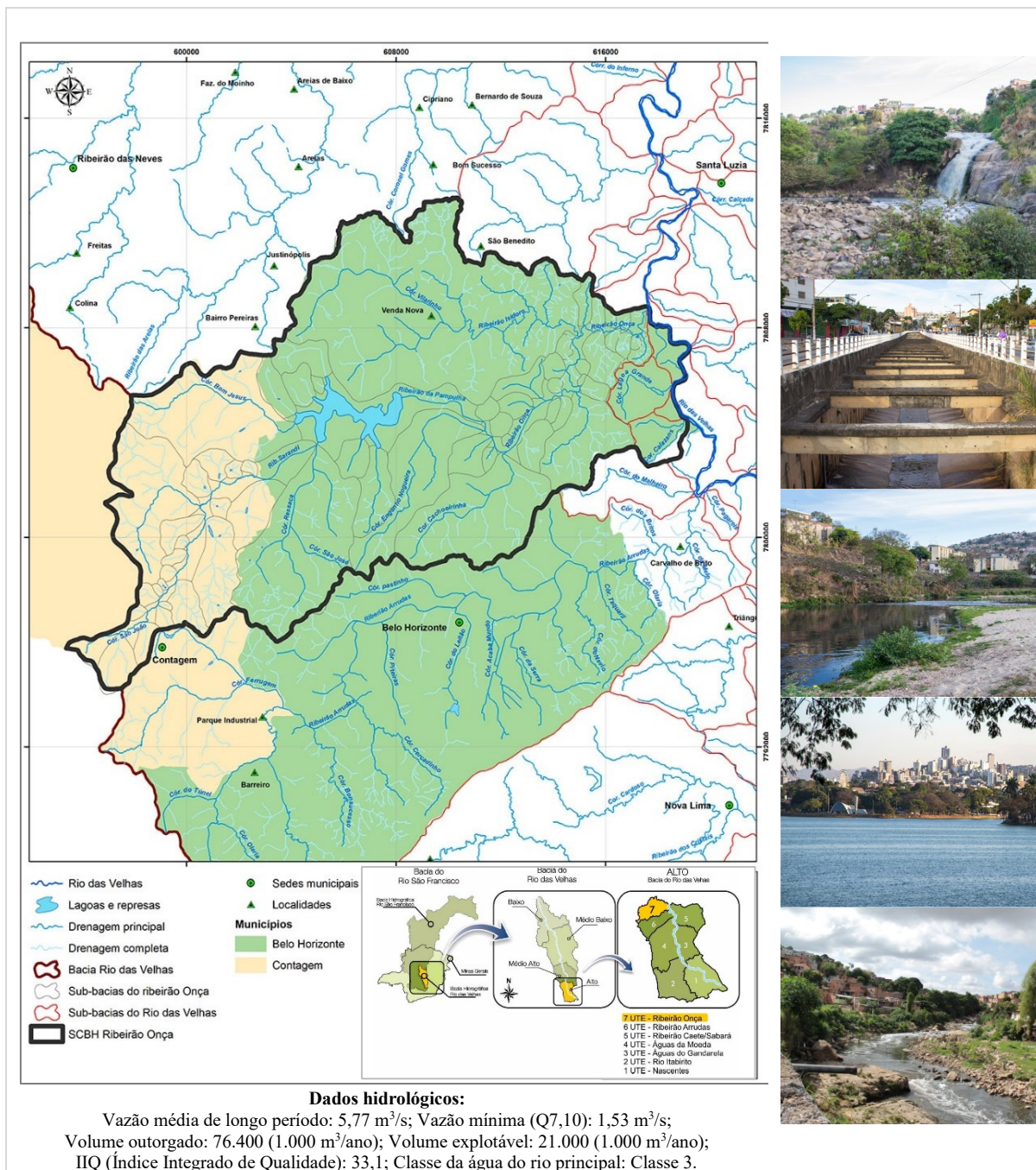
A sub-bacia do Ribeirão Onça está inserida na Bacia do Rio das Velhas (Alto Rio das Velhas) e integra a Bacia do Rio São Francisco. As sub-bacias que integram a Bacia do Rio das Velhas estão divididas administrativamente em unidades, cada qual denominada Unidade Territorial Estratégica (UTE). Com população aproximada de 1,3 milhão de habitantes, a UTE Ribeirão Onça é uma das mais importantes sub-bacias da região e ocupa uma área aproximada de 221 km² sob as delimitações dos municípios de Belo Horizonte (166,89 km²) e Contagem (53,18 km²) (PDRH-VELHAS, 2015).

A sub-bacia é majoritariamente urbana (86,6% da região), caracterizada pela alta densidade de edificações, empreendimentos industriais, centros comerciais e sistemas viários com intenso fluxo de veículos. O setor de serviços é o principal componente econômico local, representando cerca de 67% do PIB (PDRH-VELHAS, 2015). Embora a sub-bacia ocupe apenas 0,79% da área territorial da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas, devido ao intenso processo de urbanização da região, ela é uma das principais responsáveis pela degradação do Rio das Velhas, sendo um dos fatores mais expressivos a baixa qualidade da água (FUNDEP, 2012).

O Ribeirão Onça, principal afluente da sub-bacia, recebe esse nome a partir da confluência do córrego Cachoeirinha com o Ribeirão Pampulha. Esse último, por sua vez, é resultado da confluência dos córregos Ressaca e Sarandi, que tem nascente no município de Contagem. O curso d'água percorre 38,7 km até a foz (limite municipal entre Belo Horizonte e Santa Luzia). A Lagoa da Pampulha figura como importante elemento de paisagem, histórico, cultural e turístico na região, ainda que apresente um estado de degradação hídrica bastante acentuado. Outros cursos d'água importantes são o Córrego da Ressaca, Ribeirão do Cabral, Córrego São João e o Ribeirão Isidoro/Vilarinho, altamente impactado pela recente e intensa urbanização da região norte de Belo Horizonte, especialmente Venda Nova. A maioria dos cursos d'água locais encontram-se canalizados ou tiveram seu leito natural alterado (LUME, 2012).

A localização e características hidrológicas básicas da sub-bacia do Ribeirão Onça são apresentadas na Figura 3.1:

Figura 3.1 - Sub-bacia do Ribeirão Onça

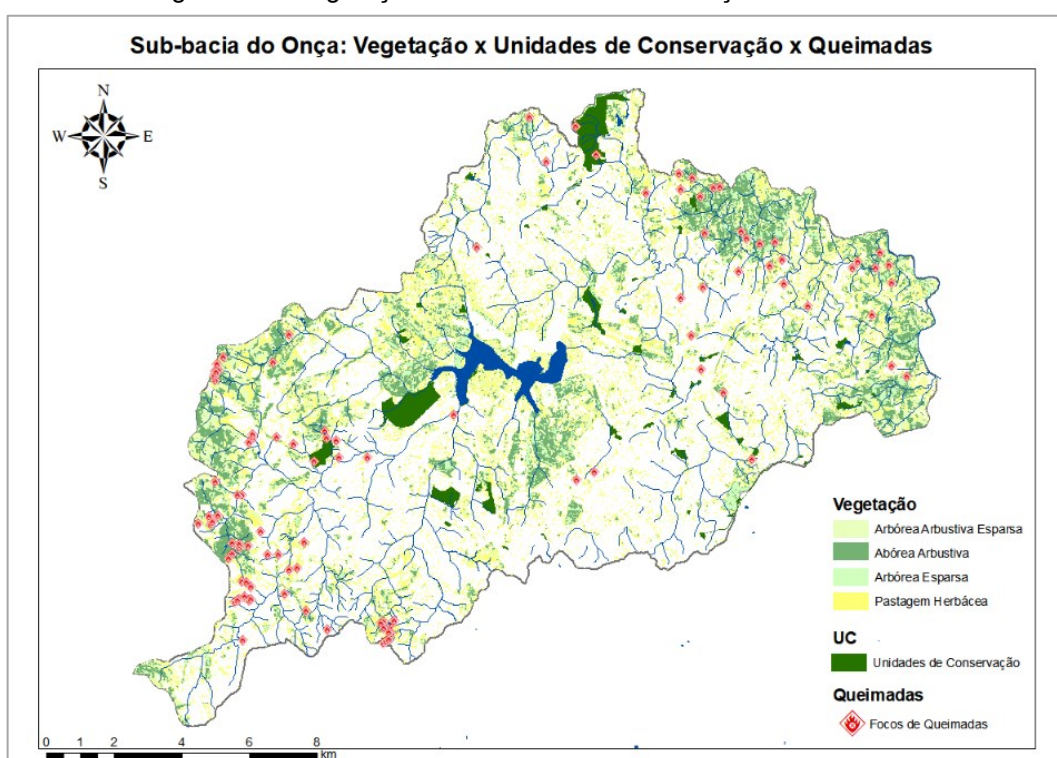


Vegetação

Quanta à cobertura vegetal, a maior parte da vegetação original não resistiu às pressões antrópicas, restando vestígios de áreas de maior adensamento de espécies arbóreas e pastagens

em regiões com menor concentração demográfica. Apesar de seu perfil urbano, 54 unidades de conservação foram identificadas na região, ocupando 3,17% do território, sendo a maioria parques municipais. O risco de queimadas é uma das preocupações locais nos períodos mais secos do ano, dados do INPE (2010-2018) apontam que a maior parte dos focos de queimadas acontece em áreas com menor nível de urbanização e maior concentração de biomassa vegetal. A Figura 3.2 apresenta a composição básica da vegetação local, bem como unidades conservação e principais focos de queimadas identificados no ano 2014, que registrou o maior número na região no período 2010-2018, 103 ocorrências:

Figura 3.2 - Vegetação x Unidades de Conservação x Queimadas



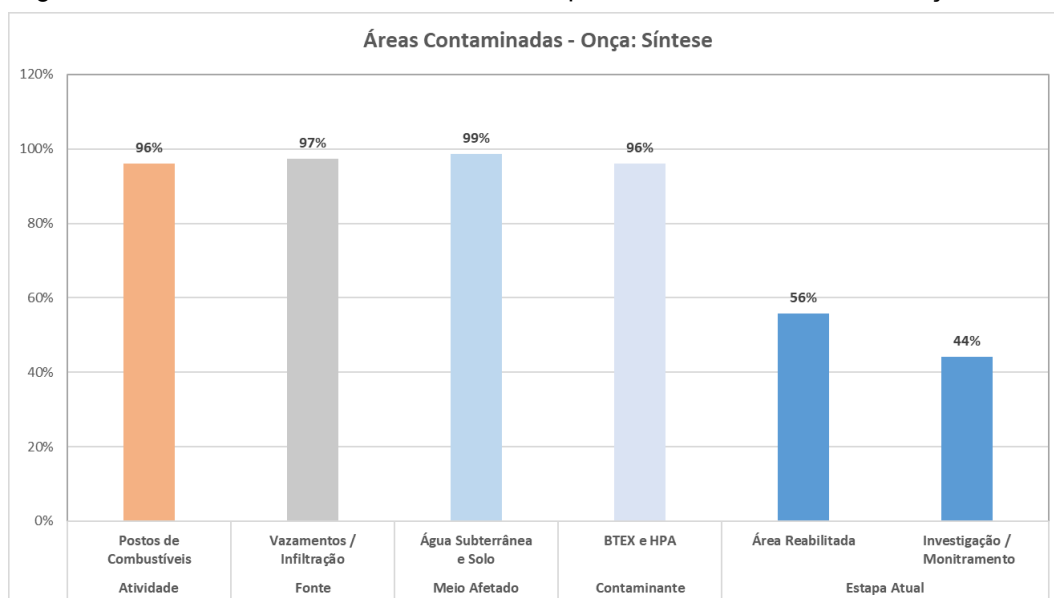
Fonte: Autor, 2020.

Fragilidade Ambiental, Áreas Contaminadas e Poluição dos Recursos Hídricos

Elevado nível de susceptibilidade à erosão caracteriza a região (55,79% da área: forte; 43,38%: média fragilidade), o alto índice de impermeabilização, uso e ocupação do solo desordenados são os principais fatores potencializadores do assoreamento de cursos d'água na sub-bacia. A partir das características de declividade, tipo de solo, susceptibilidade à erosão e uso do solo, tem-se predominantemente níveis de fragilidade ambiental médio e forte na região, requerendo atenção e programas socioambientais para reduzir riscos e mitigar a degradação ambiental na sub-bacia (PDRH-VELHAS, 2015).

A região não apresenta problemas efetivos de gestão e gerenciamento de resíduos sólidos urbanos, atendendo cerca de 96% da população (SNIS, 2018) e direcionando a totalidade dos resíduos domiciliares recolhidos para aterros sanitários. Contudo, há uma preocupação inerente quanto ao risco de poluição do solo e das águas subterrâneas, de acordo com dados processados da FEAM (2019), a região contempla 77 áreas classificadas como contaminadas, das quais 55,84% encontram-se com status “reabilitadas”. Conforme apresentado na Figura 3.3, os postos de combustíveis são os maiores responsáveis pela contaminação, cuja fonte majoritária são vazamentos/infiltrações, que tem como meio afetado em maior proporção o conjunto água subterrânea e solo. Os poluentes encontrados com maior frequência são os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA) e BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos).

Figura 3.3 - Áreas Contaminadas Monitoradas pela FEAM – Sub-bacia do Onça, Síntese



Fonte: Autor, 2020.

Quanto aos recursos hídricos, o balanço hídrico local confere uma condição confortável à sub-bacia, sendo que a vazão média de longo prazo ($5,77 \text{ m}^3/\text{s}$) supera com folga as vazões retiradas ($0,1494 \text{ m}^3/\text{s}$) e consumidas ($0,0351 \text{ m}^3/\text{s}$). Contudo, a vazão local é a menor registrada na Bacia do Rio das Velhas, o que tende a comprometer a capacidade de diluição dos efluentes lançados nos corpos d'água. O fator consumo tem como destaque o setor industrial, que consome cerca de 91% da água, seguido pela irrigação, que demanda cerca de 6%, não foi identificado registro de captação de água para abastecimento público urbano (PDRH-VELHAS, 2015).

Quanto ao esgoto sanitário, em 2018, cerca de 77% dos efluentes eram coletados, dos quais 100% foram destinados a algum tipo de tratamento (SNIS, 2018). Duas ETEs (Estações de Tratamento de Esgoto) e uma ETAF (Estação de Tratamento de Águas Fluviais) se encontram em operação na região: ETE Onça, responsável pela maior parte do esgoto tratado, capacidade para tratar 1.800 l/s de efluentes e taxa média de remoção de DBO no valor de 86,60%; ETAF Ressaca e Sarandi, capacidade de tratamento de 750 l/s, taxa de remoção de DBO igual a 72,57%; ETE Jardim Vitória, capacidade para tratar 38 l/s (COPASA, 2019).

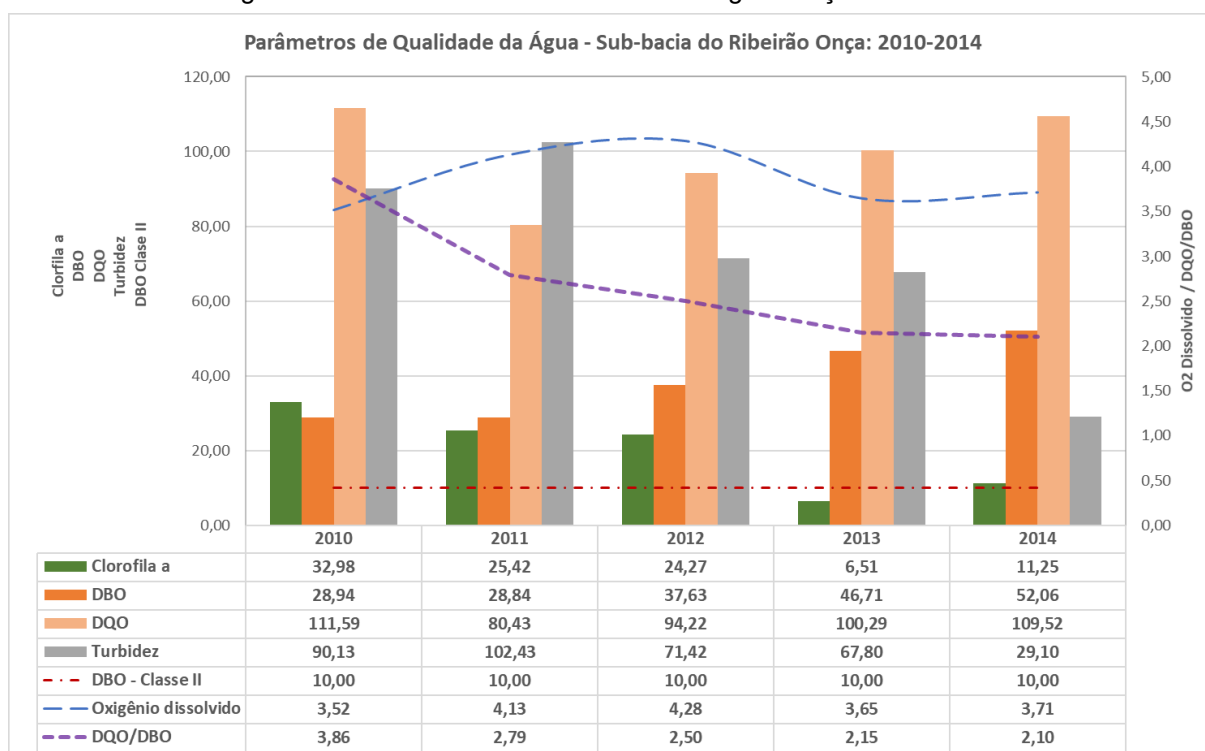
A poluição dos cursos d'água é a principal preocupação ambiental na sub-bacia, há uma elevada carga poluidora proveniente de efluentes, principalmente, esgotos domésticos lançados nos corpos hídricos (PDRH-Velhas, 2015). O monitoramento da qualidade da água é efetuado por estações de amostragem do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM, 2019) localizadas principalmente no Rio das Velhas, Ribeirão Isidoro e Ribeirão Onça (a jusante e montante da ETE Onça), os recursos hídricos foram enquadrados como Classe 3 (requer tratamento avançado da água para consumo humano). De forma geral, a região a jusante da sub-bacia apresenta pior qualidade da água. A partir da análise de dados do PDRH-Velhas, identificou-se que cursos d'água a montante da ETE Onça chegaram a apresentar concentração de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) de 82,10 mg/L, a jusante da ETE a concentração reduziu-se para 59,10 mg/L e após a confluência do Ribeirão Onça com o rio das Velhas a concentração de DBO baixou para 24,69 mg/L, indicando que ao transpor áreas com menor nível de urbanização houve melhoria na qualidade da água para o parâmetro avaliado. Cabe salientar que o significativo aumento de vazão após a confluência também tem grande representatividade na diluição da concentração da DBO.

A Figura 3.4 apresenta o processamento de dados da ANA (2019) e do IGAM (2019), por meio de média aritmética simples, referentes a 37 pontos de monitoramento dispostos na região no período 2010-2014. Foram observados os seguintes parâmetros: clorofila-a, DBO, DQO (Demanda Química de Oxigênio), turbidez e OD (Oxigênio Dissolvido). O valor da DBO aumentou de 28,94 para 52,06 mg/L, cerca de 80%, fornecendo indícios de que o aumento significativo da concentração de carga orgânica na região pode ter relação com a elevação do volume de lançamento de esgotos domésticos e/ou com a redução da vazão nos cursos d'água locais em função da crise hídrica identificada em 2014 na sub-bacia. O PDRH-Velhas tem como meta tornar possível nadar e pescar no trecho metropolitano do rio das Velhas, que significa

tornar o rio Classe 2 (CONAMA 357/2005: DBO até 10 mg/L), de modo que nenhum afluente entregue à calha do rio deverá estar caracterizado como Classe 3 ou 4, representando um grande desafio perante às condições atuais da sub-bacia do Ribeirão Onça (PDRH-VELHAS, 2015).

A DQO apresentou pequena redução, de 111,59 para 109,52 mg/L, sinalizando que cargas poluidoras com origem industrial/química se mantiveram estáveis no período 2010-2014. A turbidez registrou tendência de redução no período, de 90,13 para 29,10 NTU, sob este aspecto, não foram identificados indícios de que o possível aumento de obras pré-Copa do Mundo tenha impactado de forma significativa no volume de material particulado direcionado para recursos hídricos locais. Quanto ao nível de OD, este mostrou-se relativamente estável, variando de 3,52 para 3,71 mg/L (período de maior carga de DBO), não salientando conexão estrita entre a elevada variação de DBO e os níveis de OD; a clorofila-a reduziu de 32,98 para 11,25 µg/L, indicando diminuição da biomassa algal, entretanto, não foi possível identificar correlação objetiva com os demais parâmetros avaliados.

Figura 3.4 - Parâmetros de Qualidade da Água: Onça – 2010-2014



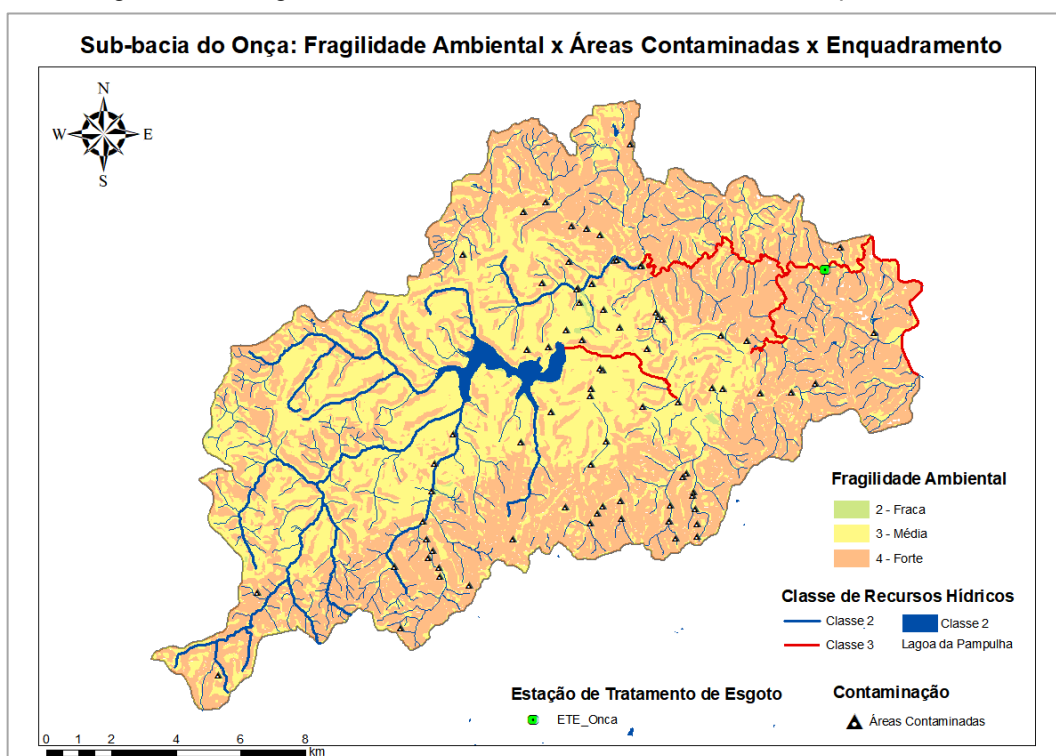
Fonte: Autor, 2020.

Embora o período de análise seja curto e simplificado, os fatores acima citados corroboram com a hipótese de que a baixa qualidade dos recursos hídricos locais, evidenciados pela elevada

concentração de DBO, é o fator avaliado com maior influência negativa para os cursos d'água na sub-bacia do Onça, frente à disponibilidade de oxigênio dissolvido, material particulado e turbidez. A relação DQO/DBO calculada para o período apresentou como valor máximo 3,86 (2010), de acordo com Porto (1991), uma relação DQO/DBO com valor menor do que 5 indica a presença de esgoto biodegradável, fato aderente aos estudos locais que conferem à contaminação por esgotos domésticos a principal causa de poluição dos recursos hídricos na sub-bacia do Onça (PDRH-Velhas, 2015).

A integração entre fragilidade ambiental, áreas contaminadas e classes de enquadramento dos recursos hídricos locais está disposta na Figura 3.5. Os cursos d'água a montante tendem a apresentar melhor qualidade da água, sendo enquadrados como Classe 2, a jusante a qualidade das águas tem nível de qualidade reduzido, especialmente nas áreas próximas à ETE Onça e de maior fragilidade ambiental. Quanto às áreas contaminadas, apesar da proximidade de alguns pontos a cursos d'água, a partir de análise de dados das estações de monitoramento não foram identificados fatores que ratifiquem contaminação das águas superficiais pelas mesmas, corroborando com os registros da FEAM de que os meios mais afetados pelas áreas contaminadas monitoradas pela entidade foram águas subterrâneas e o solo.

Figura 3.5 - Fragilidade Ambiental x Áreas Contaminadas x Enquadramento

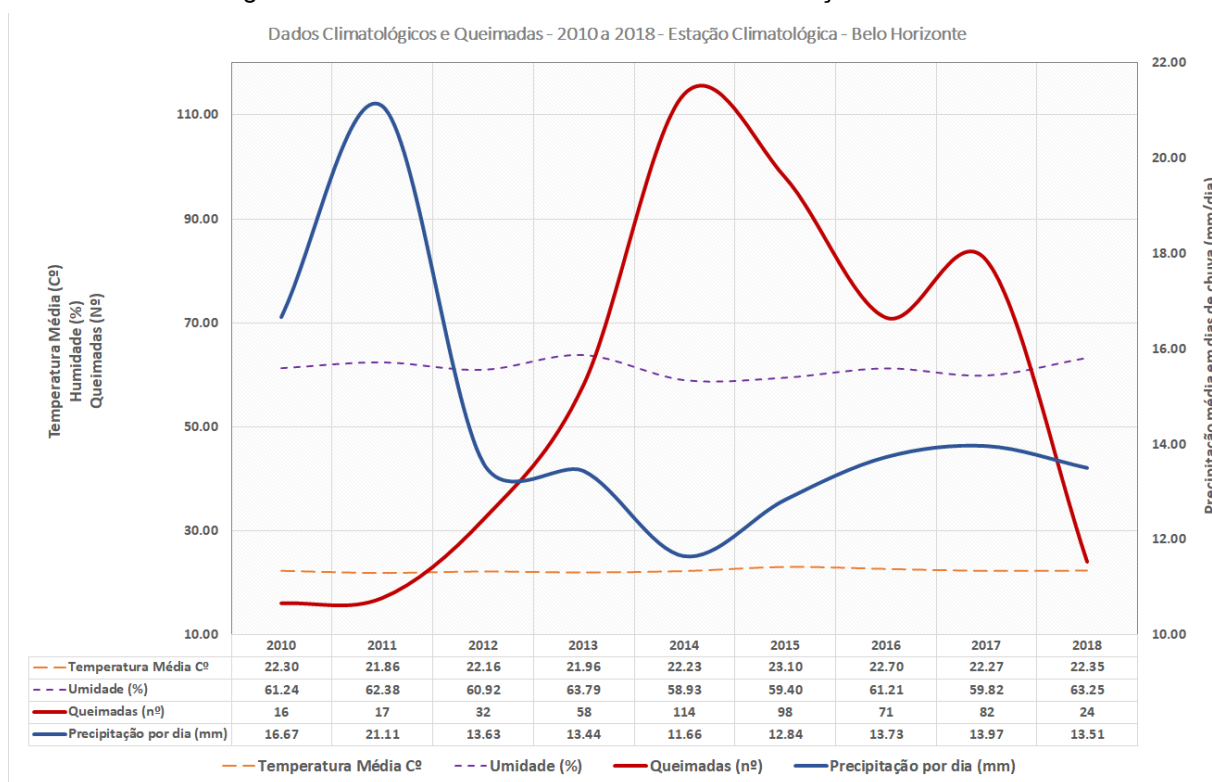


Fonte: Autor, 2020.

Eventos Climáticos e Áreas de Risco

Quanto às características climáticas locais, a precipitação média anual varia entre 1.500 e 1800 mm, já a temperatura média anual é de 21 °C. A partir de dados extraídos de uma estação meteorológica localizada na cidade de Belo Horizonte (coordenadas geográficas -19,93° Sul, -43,93° Oeste) sob responsabilidade do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2019), período 2010-2018, foram analisados de forma expedita aspectos relacionados a eventos climatológicos locais. A Figura 3.6 sintetiza as características dos dados climáticos locais, bem como sua relação com o número de queimadas identificados na região. Os dados de queimadas foram extraídos e processados por meio da base dados do INPE (2019).

Figura 3.6 - Variáveis Climáticas e Queimadas: Onça – 2010-2018



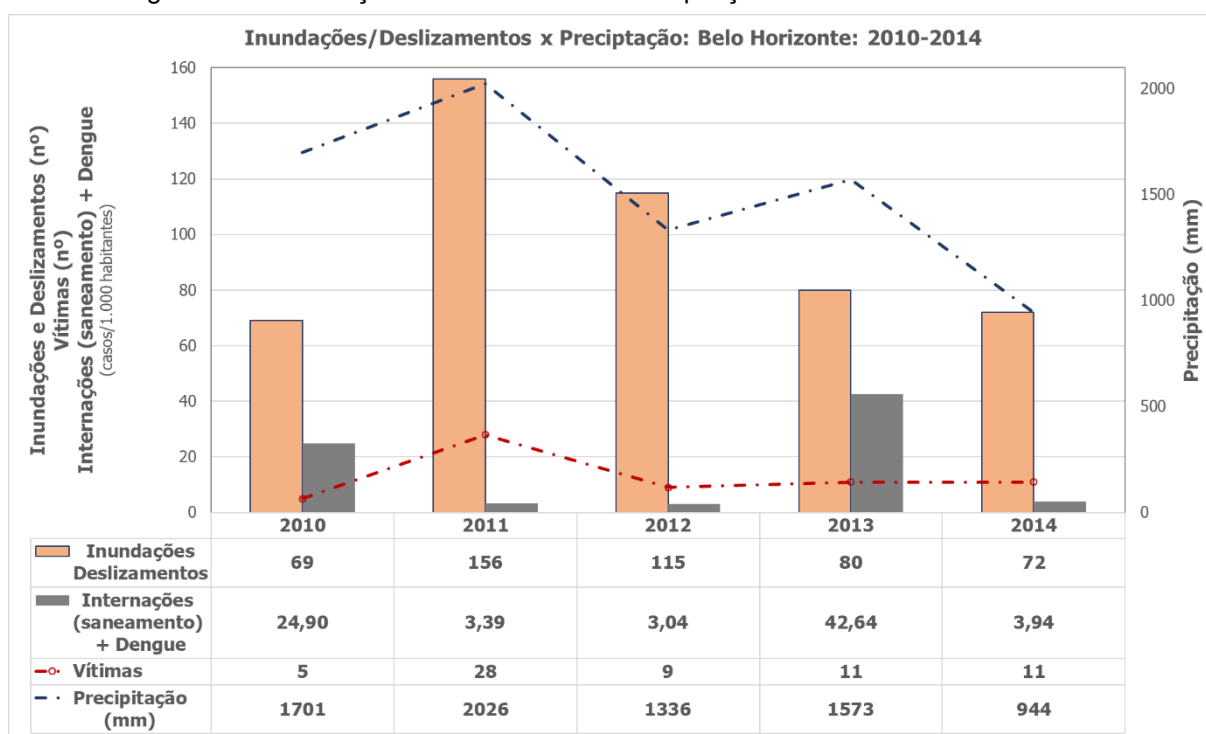
Fonte: Autor, 2020.

Observa-se que o ano de 2014 apresentou elevado número de queimadas, este fator pode estar relacionado, principalmente, às reduções da precipitação média no período, uma vez que umidade relativa do ar e o aumento de temperatura (média) apresentaram variações discretas no período. Tendo registrado 81 dias com precipitação média diária de 11,66 mm, o ano de 2014 foi mais o mais seco no período (2010-2018). Em contrapartida, o ano de 2011 registrou o maior volume de chuvas, distribuídas em 96 dias com precipitação média de 21,11 mm. O

ano com maior registro de dias com precipitação foi 2018, com 120 dias chuvosos. Cabe ressaltar que os anos 2014 e 2015 remetem a um período de escassez hídrica local, onde houve necessidade de racionamento de água para abastecimento público em cidades da região.

Ainda sobre as relações entre elementos climáticos e o ecossistema urbano, a partir de dados do período 2010-2014, correspondentes a ocorrências atendidas pelo Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais (2019), dados do Ministério da Saúde (2019) e do INPE (2019), tem-se uma análise básica destes aspectos na região. As informações levantadas trazem registros de ocorrências atreladas às inundações e deslizamentos, vítimas, taxa de internações por doenças relacionadas ao saneamento básico e notificações de casos de dengue, e precipitação anual do município de Belo Horizonte, que contempla a área mais urbanizada da sub-bacia, Figura 3.7.

Figura 3.7 – Inundações/Deslizamentos x Precipitação: Belo Horizonte: 2010-2014



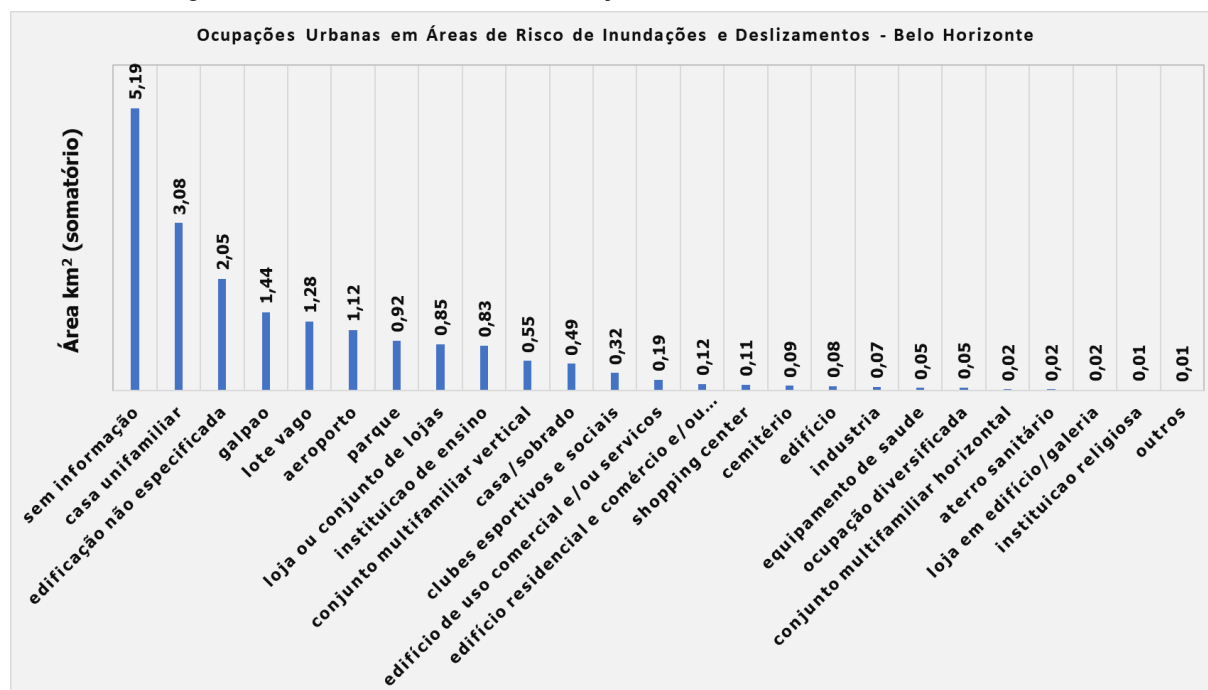
Fonte: Autor, 2020.

Observa-se que o número de ocorrências motivadas por condições climáticas, no caso precipitação, tende a aumentar conforme o volume de chuvas anual, bem como o número de vítimas registrado. Com relação à taxa de internações relacionadas ao saneamento básico e registros de casos de dengue, a primeira apresentou variações pouco representativas no período, as notificações de dengue por sua vez apresentaram dois eventos críticos, em 2010 e 2013, com 21,86 e 39,53 casos para cada grupo de 1.000 habitantes. Os anos com maior incidência de

precipitação, 2010 e 2011, não apresentaram correspondência direta ao número de casos de dengue, indicando que outros fatores, educação socioambiental e campanhas de prevenção epidemiológica, por exemplo, também podem ter impacto expressivo sobre estes aspectos. Contudo, diante do curto período de análise a única conclusão plausível é a recomendação por mais investigações sobre o tema.

O histórico de ocupação informal da região resultou na inserção de parte da população em áreas inundáveis, desencadeando riscos à saúde pública, integridade física da comunidade e ao meio ambiente. A cidade de Belo Horizonte tem histórico recente de eventos climáticos de grande intensidade, especialmente inundações e enchentes, resultando em graves prejuízos socioambientais e perda de vidas humanas. A partir do cruzamento de dados georreferenciados do município referentes a riscos de inundações/enchentes/deslizamentos classificados como alto e registros de ocupações urbanas, identificou-se que 18,98 km² (apenas região inserida na sub-bacia do Onça) encontra-se em áreas de alto risco: 17,10 km², inundações; 1,87 km², deslizamentos. A Figura 3.8 apresenta o somatório das áreas das ocupações sob risco, casas unifamiliares correspondem ao tipo mais afetado, ocupando 3,08 km².

Figura 3.8 - Área de Risco de Inundações e Deslizamentos – Belo Horizonte

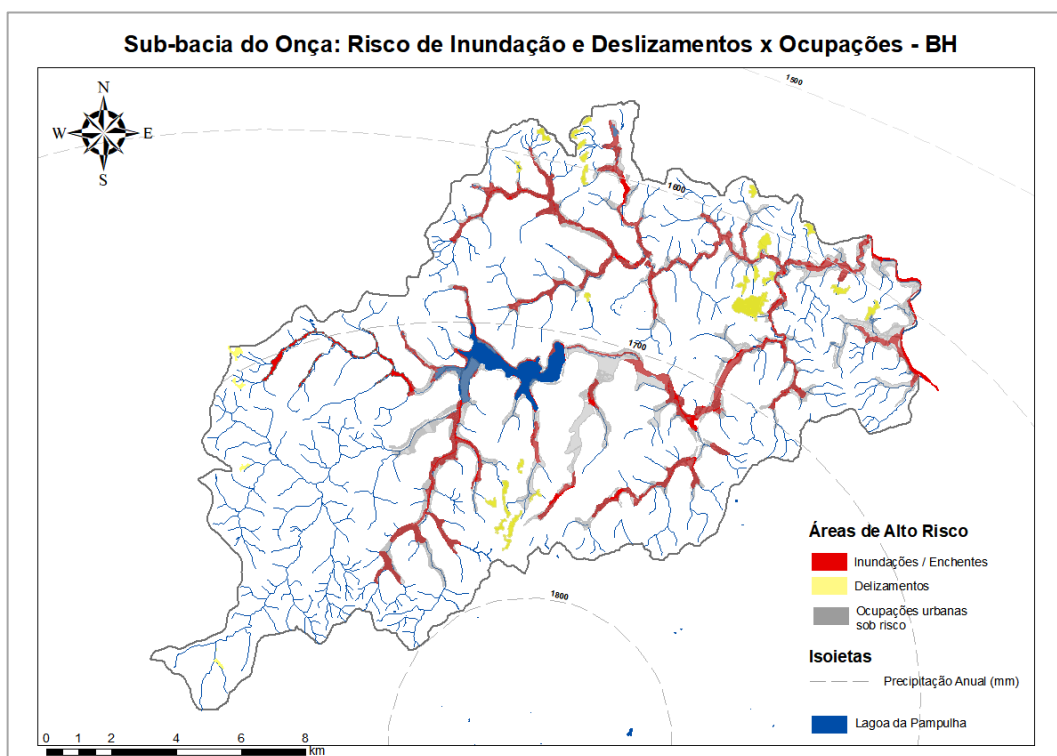


Fonte: Autor, 2020.

A partir de uma análise simplista, a título estrito de exemplificação, foram estimados custos de uma possível remoção/relocação das ocupações urbanas localizadas em áreas de alto risco no município de Belo Horizonte (apenas parte inserida na sub-bacia). Foram identificadas 10.990 ocupações urbanas sob condições de alto risco (excluindo lotes vagos, ocupações sem tipo de informação, parques, cemitérios e aterros), totalizando uma área de 9,92 km², 2,91 % da área do município. Para valoração foi considerado o preço do m² de lote residencial em Belo Horizonte, referência do mês de setembro de 2018, R\$ 6.406,00 (FIPEZAP, 2020). Sob estas condições, o valor fictício referente à remoção/relocação é de R\$ 61,61 bi, que representa 69,26% do PIB do município em 2017 (IBGE, 2020). O exemplo apresentado sintetiza os altos custos financeiros, ambientais e sociais acarretados pela combinação entre falta de planejamento, uso e ocupação irregular do solo e impactos de mudanças climáticas.

A Figura 3.9 apresenta as áreas de alto risco e as possíveis ocupações urbanas diretamente afetadas (a análise não contempla o município de Contagem por ausência de dados).

Figura 3.9 - Risco de Inundação e Deslizamentos x Ocupações - BH



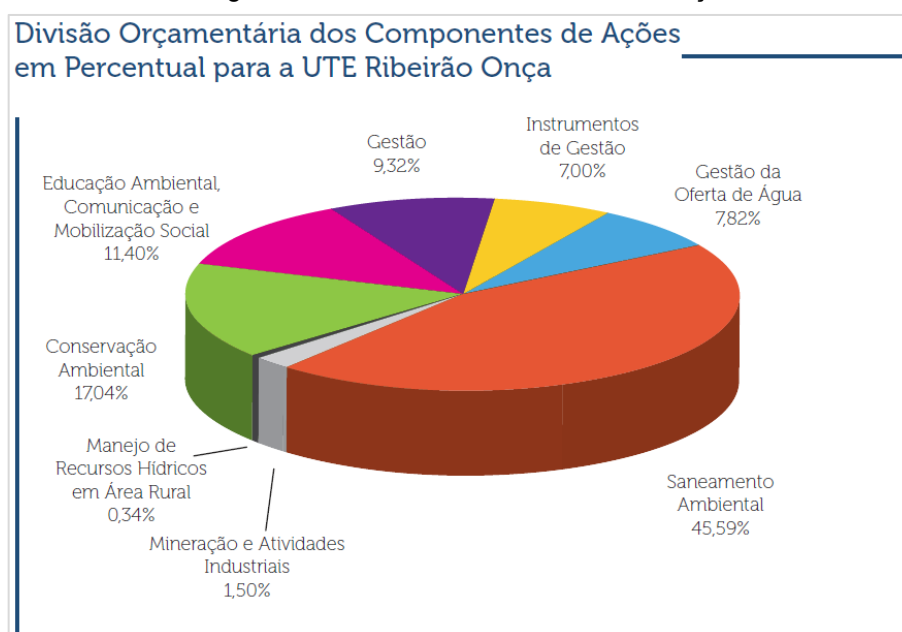
Fonte: Autor, 2020.

Gestão Socioambiental

O nível de gestão da sub-bacia encontra-se bastante estruturado, o subcomitê do Ribeirão Onça (criado em 2006, vinculado ao Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas, CBH Velhas) apresenta equipes técnicas e administrativas representativas, refletindo-se na realização de diagnósticos, produção de relatórios e estudos frequentes, nos últimos anos diversos projetos foram implementados e financiados na região. A sub-bacia possui Plano Diretor de Recursos Hídricos (PDRH-Velhas), sistema de geoprocessamento, mecanismos de comunicação e cobrança, formação e participação social, indicando boa capacidade de gestão.

O PDRH-Velhas, executado entre 2012 e 2014, com custos registrados de R\$ 3.271.831,90 foi custeado pelos recursos arrecadados com o sistema de cobrança pelo uso da água na bacia. Para o período de vigência do PDRH-Velhas (2015-2030) há previsão de investimentos no valor de R\$ 16.200.540,62 em programas e projetos socioambientais na sub-bacia do Ribeirão Onça. A distribuição dos investimentos é apresentada na Figura 3.10, sendo a maior faixa destinada ao saneamento ambiental (45,59%), a fim de prover soluções para as péssimas condições dos recursos hídricos locais (PDRH-Velhas, 2015).

Figura 3.10 - Investimentos - Ribeirão Onça



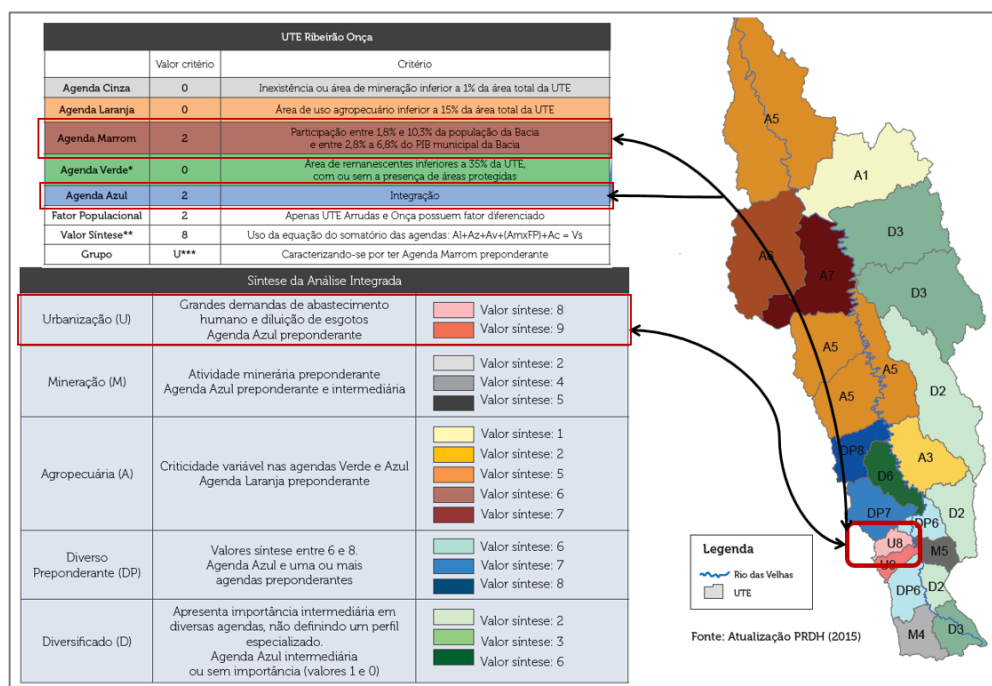
Fonte: Adaptado de PDRH-VELHAS, 2015.

O PDRH-Velhas classifica as áreas de atuação para manutenção e recuperação socioambiental da sub-bacia do Ribeirão Onça em seis Agendas, cada qual com seu respectivo foco de

avaliação/monitoramento: Cinza/Mineração (porcentagens das áreas com minerações na UTE), Laranja/Agropecuária (porcentagens das áreas com uso agropecuário, participação do PIB agropecuário da UTE no PIB agropecuário da bacia), Marrom/Urbanização (participação da UTE na população da bacia e no PIB municipal da bacia), Verde/Conservação (porcentagens de áreas remanescentes e áreas protegidas) e Azul/Recursos Hídricos (balanços hídricos, qualidade das águas, relação volume outorgado e volume explotável, bem como percepção ambiental da comunidade da UTE).

A Figura 3.11 apresenta a contextualização das agendas na sub-bacia do Onça (código U8), quanto maior o valor do critério, maior a relevância da agenda na região. As Agendas Marrom (pressão antrópica em função da população) e Azul (quantidade e qualidade dos recursos hídricos) são as prioridades de atuação na sub-bacia, tendo como fator de pressão grandes demandas de abastecimento humano e tratamento de esgoto, justificando os investimentos previstos para o setor de saneamento ambiental (PDRH-VELHAS, 2015).

Figura 3.11 - Agendas Sub-bacia do Ribeirão Onça



Fonte: Adaptado de PDRH-VELHAS, 2015.

Agenda de Sustentabilidade na Sub-bacia do Ribeirão Onça

Os municípios de Belo Horizonte e Contagem têm apresentando importantes iniciativas e resultados encorajadores frente ao desafio de prover diretrizes e práticas rumo ao

desenvolvimento sustentável, elementos primordiais em nosso país diante das graves questões ambientais vigentes.

- **Belo Horizonte**

Desde o ano 2005 a Prefeitura de Belo Horizonte está alinhada à Agenda Global da ONU (estabelecida na Cúpula do Milênio em 2000 e que em 2001 desdobrou-se nos ODM), que basicamente consiste em um compromisso com prazos estabelecidos e metas mensuráveis por índices/indicadores, os resultados são monitorados e analisados, tendo como objetivos principais erradicar a pobreza, a fome e melhorar a qualidade de vida das pessoas. Em 2008, por meio de assinatura de Termo de Cooperação Técnica, a Prefeitura ratificou o compromisso com os ODM e criou o Observatório do Milênio de Belo Horizonte. A entidade Observatório é constituída por uma rede de agentes públicos, privados e comunidades civil e acadêmica. Quanto aos compromissos assumidos juntos aos ODM, foram produzidos relatórios periódicos de monitoramento dos indicadores, revistas, relatórios técnicos e diversos eventos de educação e capacitação.

Com o advento dos ODS, foram estabelecidos novos objetivos e metas para o período 2015-2030 (Agenda 2030), o Observatório, capitaneado pela Prefeitura de Belo Horizonte, assinou novo Termo de Cooperação Técnica, ratificando e renovando os compromissos com o monitoramento dos indicadores, produção e difusão de dados e informações para subsidiar avaliações e fomentar políticas públicas. A partir da lista geral de indicadores oficiais disponíveis nos ODS, a lista de indicadores e metodologias foram selecionadas e adequadas à realidade local, alinhando-os aos instrumentos de planejamento da cidade. Em 2018 foi publicado o primeiro Relatório de Acompanhamento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável de Belo Horizonte, os diversos documentos, informações e eventos promovidos pelo Observatório estão disponíveis no portal do projeto, disponível em: <https://observatoriodomilenio.pbh.gov.br/> (PBH, 2019).

- **Contagem**

Desde a última década a Prefeitura de Contagem tem registrado avanços nas tratativas das complexas questões afetas ao desenvolvimento sustentável, a produção do *Relatório ODM Contagem e os Objetivos de Desenvolvimento do Milênio*, publicado em 2012, é um marco referencial e ratifica as preocupações do município com as questões ambientais. Dando

continuidade às ações que visam a sustentabilidade, em 2018 foi concluído o Plano Estratégico Contagem 2030, um documento de gestão construído com a participação de agentes de diversas esferas sociais, públicas e privadas, com a visão de tornar a cidade uma referência em inovação, sustentabilidade e segurança. Baseado nos ODS (Agenda 2030 da ONU), o Plano Estratégico é composto por 59 metas e 128 diretrizes que serão monitorados buscando identificar fragilidades e direcionar esforços que possam propiciar qualidade socioambiental para a população local.

As ações de gestão ambiental têm apresentado bons resultados, no mês de julho de 2012 o município foi premiado pelo Prêmio ODM Brasil, organizado pelo governo federal, com o projeto Entre Gênero – Nova Educação para Relações de Gênero. Em junho de 2018 a Prefeitura recebeu o Prêmio Cidade Destaque em Gestão Ambiental no II Fórum Brasil de Gestão Ambiental, evento organizado pela Associação Nacional de Órgãos Municipais de Meio Ambiente (ANAMMA). Já em maio de 2019, o município sediou importante reunião do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) com foco nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) (PMC, 2019).

Projeto de Valorização de Nascentes Urbanas – Sub-bacia do Ribeirão Onça

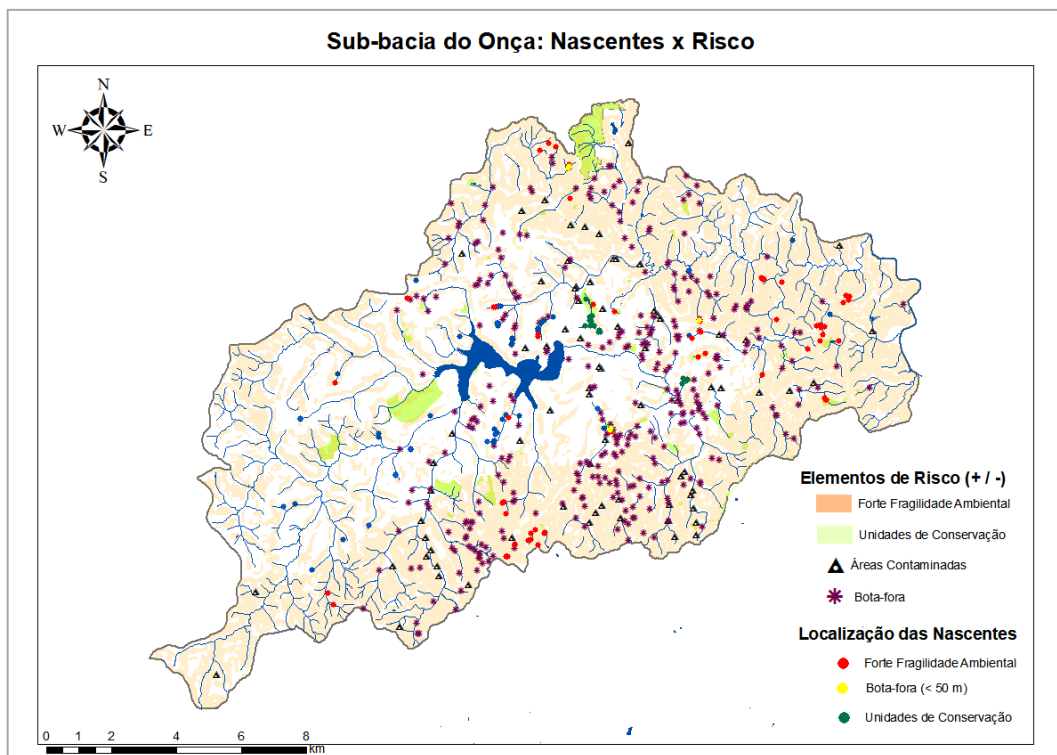
Iniciado em 2012, o projeto “Valorização das Nascentes Urbanas nas Bacias Hidrográficas dos Ribeirões Arrudas e Onça” é idealizado pelo CBH Velhas (Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas) e teve como intuito identificar nascentes localizadas nas sub-bacias e fomentar uma gestão socioambiental participativa junto à comunidade. Foram cadastradas, mapeadas, caracterizadas e diagnosticadas 345 nascentes: 183 na sub-bacia do Ribeirão Arrudas e 162 na sub-bacia do Ribeirão Onça, das quais 60 (Arrudas) e 30 (Onça) de cada sub-bacia foram selecionadas para integrar um projeto de revitalização. Mais do que um projeto de recuperação ambiental, a iniciativa propiciou a sensibilização das comunidades diante da importância de preservação e recuperação das nascentes para a melhoria da qualidade e quantidade da água na região metropolitana (PDRH-VELHAS, 2015).

A Figura 3.12 foi elaborada com base em dados georreferenciados da SLU (2020), FEAM (2020) e PDRH-Velhas (2015), e apresenta as 162 nascentes cadastradas na sub-bacia do Ribeirão Onça, bem como a disposição das mesmas frente às 77 áreas contaminadas, 339 pontos de deposição clandestina de resíduos (bota-fora), 54 unidades de conservação e cerca de 123 km² de área caracterizada como forte fragilidade ambiental. O ponto de área contaminada

monitorada pela FEAM mais próximo a uma nascente está a 245,94 m de distância. Quanto a pontos de bota-fora, cinco localidades estão dispostas a menos de 50 m de nascentes. Unidades de conservação contemplam 27 nascentes do Projeto. Um total de 83 nascentes se encontram em áreas tipificadas como forte fragilidade ambiental.

Uma análise sucinta dos dados acima sugere que áreas contaminadas exercem menor risco iminente às nascentes do que aspectos relacionados à alta densidade urbana e problemas decorrentes, tal qual a disposição irregular de resíduos. A inserção de nascentes em áreas de forte fragilidade ambiental também é um fator de risco que requer medidas adicionais de proteção. Por outro lado, nascentes inseridas ou próximas a unidades de conservação tendem a dispor de maior potencial de conservação.

Figura 3.12 – Sub-bacia do Onça: Nascente x Riscos



Fonte: Autor, 2020.

3.1 Ferramentas PE, PS, BS e WSI na Sub-bacia do Ribeirão Onça

O processo de escolha das ferramentas de mensuração da sustentabilidade e a seleção dos indicadores/variáveis utilizados compõem a etapa crucial desta pesquisa, uma vez que a opção por metodologias incoerentes e dados pouco representativos para a realidade local podem resultar em avaliações de sustentabilidade com elevado nível de imprecisão, comprometendo o

planejamento e ações de mitigação socioambientais, ao passo que acarretam baixa efetividade na gestão de recursos financeiros, técnicos e humanos. Ter objetivos claros, definidos e manter os elementos de avaliação vinculados aos mesmos são práticas que têm minimizado distorções de mensuração da sustentabilidade.

No contexto desta pesquisa, as ferramentas PE, PS, BS e WSI se mostram adequadas por apresentarem maior nível de difusão e aplicações em diferentes abordagens e escalas geográficas, de modo a contemplar maior número de possibilidades, variações metodológicas e empíricas para subsidiar as especificidades da avaliação da sustentabilidade da sub-bacia do Ribeirão Onça.

Quanto à escolha dos indicadores, o processo pautou-se por selecionar variáveis com potencial de representatividade de problemas socioambientais típicos de áreas urbanas, bem como os respectivos aspectos atrelados à gestão de recursos hídricos, especialmente as nuances e especificidades dos municípios que integram a sub-bacia (Belo Horizonte e Contagem). A metodologia de seleção de indicadores, fontes de dados, consultas, documentos de referência e *softwares* utilizados na aplicação das ferramentas contempladas no estudo são apresentados no Quadro 3.1. O período de referência de análises teve como prerrogativa a disposição de dados confiáveis: 2010 (CENSO – IBGE), 2014 (Plano Diretor de Recursos Hídricos do Rio das Velhas (PDRH-Velhas, 2015)).

Quadro 3.1 - Seleção de Indicadores e Parâmetros para Cômputo dos Índices de Sustentabilidade

Seleção de Indicadores e Parâmetros para Cômputo dos Índices de Sustentabilidade						
Método	Seleção, Análise e Uso dos Indicadores: Etapas	Documento Técnico Referencial	Ano (Dados)	Fontes de Dados	Consulta a Especialistas	Software
Pegada Ecológica (PE)	1- Identificação de variáveis em documentos técnicos/científicos selecionados para a metodologia;	<i>Working Guidebook to the National Footprint Accounts (2019)</i>	2014	- ANA - IGAM - IBGE - PDRH Velhas - PNUD - INPE - FEAM - SNIS - IPEA - SEMAD - Outros	-	<i>Microsoft Excel 2016</i>
Painel da Sustentabilidade (PS)	2- Análise e classificação qualitativa das variáveis; 3- Seleção de variáveis aplicáveis ao contexto de bacias hidrográficas urbanas;	<i>The Dashboard manual (2013)</i>	2010-2014		Jochen Jesinghaus	<i>MDG Dashboard V52.1</i>
Barômetro da Sustentabilidade (BS)	4- Aplicação das variáveis à metodologia, considerando como peso a média ponderada da população residente nos municípios Belo Horizonte e Contagem na sub-bacia do Onça; 5- Testes de sensibilidade de variáveis e análise de resultados.	<i>IUCN RESOURCE KIT FOR SUSTAINABILITY ASSESSMENT (2001)</i>	2014		-	<i>Microsoft Excel 2016</i>

WSI	15 parâmetros/indicadores pré-estabelecidos pelos autores, divididos em quatro grupos de indicadores.	<i>An Integrated Indicator Based on Basin Hydrology, Environment, Life, and Policy: The Watershed Sustainability Index (2007)</i>	2010-2014		Henrique Marinho Chaves	<i>Microsoft Excel 2016</i>
-----	---	---	-----------	--	-------------------------	-----------------------------

Fonte: Autor, 2020.

O detalhamento das propriedades, critérios e processamentos dos indicadores selecionados serão explicitados nos itens subsequentes.

3.2 Pegada Ecológica – Seleção de Indicadores para a Sub-bacia do Ribeirão Onça

A aplicação do método Pegada Ecológica (PE) tomou como referência a versão mais recente do documento oficial da *Global Footprint Network* (entidade responsável pelo desenvolvimento e divulgação da metodologia), *Working Guidebook to the National Footprint and Biocapacity Accounts – 2019* (LIN *et al.*, 2019). Teses, dissertações e artigos que tiveram como escopo principal a ferramenta PE aplicada no contexto de cidades urbanas, principalmente brasileiras, complementaram as bases de consulta, com destaque para:

- Região Metropolitana de Fortaleza/CE (LEITE, 2001);
- Cidades Satélites (Taguatinga, Ceilândia e Samambaia)/DF (DIAS, 2002);
- Florianópolis/SC (ANDRADE, 2006);
- Salvador/BA (CARMO, 2008);
- São Luís/MA (MARTIN, 2008);
- Rio de Janeiro/RJ, Curitiba/PR e Campo Grande/MS (TEIXEIRA, 2012);
- Joinville/SC (CARLETTO, 2012).

A PE é calculada sob dois eixos, Pegada Ecológica (consumo) e Biocapacidade (oferta), cada qual composta por suas respectivas classes. O Quadro 3.2 apresenta as classes selecionadas para determinação do nível de sustentabilidade da sub-bacia do Ribeirão Onça, a escolha pautou-se pela disponibilidade de dados para o ano de interesse (2014) e relevância no contexto de bacias hidrográficas urbanas.

Quadro 3.2 - Classes Seleccionadas para Aplicação da Pegada Ecológica

Componentes da Pegada Ecológica	
Pegada Ecológica (Consumo)	Biocapacidade (Oferta)
Agricultura (Agricultura – Produtos)	Agricultura
Pecuária (Pecuária – Produtos)	Pecuária
Pesca (Pesca e Aquicultura)	Pesca e Aquicultura
Floresta (Madeira – Produtos, Papel – Consumo)	Floresta
CO ₂ – Emissões	Infraestrutura
Infraestrutura (Área Construída)	

Fonte: Adaptado de GFN, 2019.

Conforme disposto no tópico 2.5.1 deste trabalho, a aplicação da PE utiliza como referência dados de produtividade (nacionais e mundial), fatores de produção e de equivalência. Visando obter maior ajuste à realidade local avaliada, restrições de abrangência e disponibilidade de dados para a região, optou-se por utilizar padrões de referência diferentes dos dispostos no guia oficial da ferramenta para as classes Agricultura, Pecuária, Pesca e Floresta. O fato de aplicar diferentes valores de médias para as produtividades mundial e local (Sub-bacia do Ribeirão Onça: Belo Horizonte e Contagem) para as classes mencionadas, implica na atualização dos valores relacionados aos fatores de produção. Os Quadros 3.3 e 3.4 apresentam os valores de produtividade média mundial adotados para cada classe de consumo e fatores de produtividade local, respectivamente.

Quadro 3.3 - Valores de Produtividade Mundial Adotados para Classes

Classe (Consumo)	Produtividade Média Mundial
Agricultura (Agricultura – Produtos)	- Referência Oficial: 6,44 t/ha. - Valor adotado: 12,51 t/ha. -- Valor obtido por meio de processamento de dados de cultivos de 187 produtos agrícolas (FAO, 2014).
Pecuária (Pecuária – Produtos)	- Referência Oficial: 6,19 t DM/ha (pastagem): DM: <i>dry matter</i> (matéria seca). - Valor adotado: 0,08 t/ha (utilizou-se peso animal ao invés de pastagem). -- Valor obtido por meio de processamento de dados da FAO (2014). --- Peso médio por unidade animal (gado): 192,31 kg --- Número médio de animais por hectare (gado): 0,4 animais/ha.
Pesca (Pesca e Aquicultura)	- Referência Oficial: 504 mgC/m ² /dia. - Valor adotado: 0,0331 t/ha / 33,1 kg/ha. -- Cidin e Silva (2004, p. 49).
Floresta (Madeira – Produtos)	- Referência Oficial: 1,82 m ³ /ha. - Valor adotado: 15 m ³ /ha. -- Valor obtido por meio de processamento de dados do IBÁ (2019).
CO ₂ – Emissões	- Referência Oficial: X tCO ₂ /ha (X : quantidade variável para cada atividade). - Valor adotado: 1 tCO ₂ /ha. -- Fator de emissão de carbono: 1 tCO ₂ /ha (IPCC, 2006).
Infraestrutura (Área Construída)	- Referência Oficial: área (ha).

Fonte: Adaptado de GFN, 2019.

Quadro 3.4 - Fatores de Produtividade Local Adotados para Classes

Classe (Oferta)	Produtividade Local
Agricultura	- Valor adotado: 19,48 (t/ha). -- Valor obtido por meio de processamento de dados de cultivos de produtos agrícolas (Censo Agropecuário, 2017). Foram identificados registros de produtividade de apenas três culturas cultivadas na região: Cana-de-açúcar: 50,37 t/ha Mandioca: 5,37 t/ha Milho: 2,69 t/ha Produtividade média local: 19,48 t/ha.
Pecuária	- Valor adotado: 1,03 (t/ha) -- Valor obtido por meio de processamento de dados de pecuária (gado) (Censo Agropecuário, 2017). Registros de produtividade identificados na região: Número de bovinos: Belo Horizonte (695), Contagem (1.490), Onça (756). Bovinos por hectare: Belo Horizonte (4,73/ha), Contagem (1,88/ha), Onça (4,30/ha). Área ocupada (estimada): Onça (175,71 ha). Peso médio útil bovino (Brasil): 240 (kg/animal) (FAO, 2014). Produtividade média (estimada): 1,03 (t/ha).
Pesca	- Valor adotado: 0,0331 (t/ha). -- Sem referência local. Não foram identificadas áreas de produção de pescado.
Floresta	- Valor adotado: 1 tCO ₂ /ha. -- Fator de sequestro de carbono: 1 tCO ₂ /ha (IPCC, 2006). --- Para cômputo da oferta desta classe pode-se considerar a produção de volume de madeira por hectare ou captura de tCO ₂ capturada por hectare. A fim de evitar duplicações, optou-se por utilizar o sequestro de carbono.
Infraestrutura	- Valor adotado: 19,48 (t/ha): mesmo valor da classe Agricultura (recomendação do método).

Fonte: Adaptado de GFN, 2019.

O Quadro 3.5 dispõe os valores de referência de produtividade mundial e fatores de produtividade local (brasileira) indicados pela ferramenta e os respectivos valores adotados no presente estudo para avaliação da sustentabilidade pela ferramenta:

Quadro 3.5 - Fatores de Produtividade Local

Classe	Produtividade Nacional Original	Produtividade Mundial	Produtividade Mundial*	Produtividade Local*	Fator de Produção	Fator de Produção*
Agricultura	13,60	6,44 (t/ha)	12,51 (t/ha)	19,48 (t/ha)	2,11	1,56
Pecuária	13,52	6,19 (t/ha) (pastagem, seca)	0,08 (t/ha) (carne bovina)	1,03 (t/ha)	2,18	12,88
Pesca	547	504 mgC/m ² /dia	0,0331 (t/ha)	0,0331 (t/ha)	1,09	1,09
Floresta	3,82	1,82 (m ³ /ha)	15 (m ³ /ha)	35 (m ³ /ha)	2,10	2,33
Infraestrutura	-	-	-	-	2,11	1,56

* Valores adotados em substituição aos valores de referência da Pegada Ecológica.

Fonte: Adaptado de GFN, 2019.

Os fatores de equivalência (EQF, *equivalence factor*) são determinados pela ferramenta e, *a priori*, não é recomendável efetuar alterações/adaptações, de modo que foram utilizados os valores de referência oficiais, dispostos no Quadro 3.6:

Quadro 3.6 - Fatores de Equivalência (EQF)

Classe	Produtividade Nacional - Original
Agricultura	2,50
Pecuária	1,28
Pesca	0,37
Floresta	1,28
Infraestrutura	2,50
Carbono	1,28

Fonte: Adaptado de GFN, 2019.

Os parâmetros de cada classe são apresentados nos tópicos subsequentes, os cálculos referentes à aplicação da PE foram realizados por meio do *software Microsoft Excel*, versão 2016.

3.2.1 Pegada Ecológica

A Figura 3.13 apresenta todos os componentes utilizados para cômputo da Pegada Ecológica na sub-bacia do Ribeirão Onça e suas respectivas classes (Agricultura, Pecuária, Pesca, Floresta, CO₂ – Emissões e Infraestrutura):

Figura 3.13 - Pegada Ecológica – Processamento de Classes Seleccionadas



Fonte: Adaptado de GFN, 2019.

Agricultura – Produtos

A relação de alimentos consumidos na Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) é apresentada no Quadro 3.7, ano de referência 2008. Optou-se por utilizar dados da POF (Pesquisa de Orçamentos Familiares) de 2008 porque os dados da POF 2017-2018 não se encontravam consistidos à época, de forma que os valores aqui apresentados podem estar subestimados. Em 2008, cada habitante consumiu cerca de 343,28 kg de alimentos, sendo 175,31 kg de origem vegetal/agrícola.

Quadro 3.7 - Alimentos Consumidos na Região Metropolitana de Belo Horizonte

Consumo de Alimentos – Pesquisa de Orçamentos Familiares (POF – 2008)			
Alimento	kg/hab./ano	Alimento	kg/hab./ano
Cereais e leguminosas	36,98	Pescados	1,85
Hortaliças	31,55	Aves e ovos	16,97
Frutas	37,98	Laticínios	59,16
Cocos, castanhas e nozes	0,22	Açúcares, doces e produtos de confeitaria	20,58
Farinhas, féculas e massas	10,84	Sais e condimentos	7,14
Panificados	26,77	Óleos e gorduras	10,39
Carnes	22,58	Bebidas e infusões	55,07
Vísceras	0,75	Alimentos preparados e industriais	4,44

Fonte: IBGE, 2010a.

Os itens e critérios utilizados para cômputo dos dados que compõem a classe Agricultura estão disponíveis no Quadro 3.8:

Quadro 3.8 - Pegada Ecológica: Classe Agricultura

Agricultura – Produtos		Valor (2014)	Unidade
		243.551,56	t
Descrição	Consumo de alimentos de origem vegetal.		
Forma de Obtenção	Cultivos (kg/habitante) x Número de habitantes.		
Considerações	- Dados obtidos da Pesquisa de Orçamentos Familiares (POF-2008), informação mais completa para Região Metropolitana de Belo Horizonte. - Alimentos avaliados: Cereais e leguminosas; Hortaliças; Frutas; Cocos, castanhas e nozes; Farinhas, féculas e massas; Panificados; Óleos e gorduras; Açúcares, doces e produtos de confeitaria.		
Valor(es) base	Consumo de alimentos <i>per capita</i> na Região Metropolitana de Belo Horizonte: - Cultivos: 175,31 kg/habitante. - População da Sub-bacia do Ribeirão Onça: 1.389.286 habitantes.		
Fonte	IBGE, 2010a.		
Produtividade (P)	Média Mundial: 12,50 t/ha.		
Fator de Equivalência (EQF)	Cultivo: 2,50 gha/wha		
Cálculo da Pegada: Agricultura		Total (gha)	Per capita (gha)
(Valor / P) x EQF = (243.551,56 / 12,50) x 2,50		48.744,74	0,035086184

Fonte: Autor, 2020.

Pecuária – Produtos

O quantitativo de alimentos consumidos derivados da pecuária está disponível no Quadro 3.9. Em 2008, cada habitante consumiu cerca de 138,19 kg de produtos de origem animal, os itens e critérios utilizados para processamento dos dados que compõem a classe Pecuária estão disponíveis no Quadro 3.9:

Quadro 3.9 - Pegada Ecológica: Classe Pecuária

Pecuária – Produtos		Valor (2014)	Unidade
		138.188,11	t
Descrição	Consumo de alimentos de origem animal.		
Forma de Obtenção	Pecuária (kg/habitante) x Número de habitantes.		
Considerações	- Dados obtidos da Pesquisa de Orçamentos Familiares (POF-2008), informação mais completa para Região Metropolitana de Belo Horizonte. - Alimentos avaliados: Carne bovina; Laticínio; Carnes e ovos.		
Valor(es) base	Consumo de alimentos <i>per capita</i> na Região Metropolitana de Belo Horizonte: - Pecuária: 138,19 kg/habitante. - População da Sub-bacia do Ribeirão Onça: 1.389.286 habitantes.		
Fonte	IBGE, 2010a.		
Produtividade (P)	Média Mundial: 0,08 t/ha.		
Fator de Equivalência (EQF)	Cultivo: 0,46 gha/wha		
Cálculo da Pegada: Pecuária		Total (gha)	Per capita (gha)
(Valor / P) x EQF = (138.188,11 / 0,08) x 0,46		793.211,04	0,570948705

Fonte: Autor, 2020.

Pesca e Aquicultura

O consumo de peixes na RMBH é modesto, registrando cerca de 1,85 kg por habitante/ano. O Quadro 3.10 dispõe os itens e critérios utilizados para processamento dos dados que compõem a classe Pesca e Aquicultura:

Quadro 3.10 - Pegada Ecológica: Classe Pesca e Aquicultura

Pescado – Produtos		Valor (2014)	Unidade
		2.568,79	t
Descrição	Consumo de pescado.		
Forma de Obtenção	Pescado (kg/habitante) x Número de habitantes.		
Considerações	- Dados obtidos da Pesquisa de Orçamentos Familiares (POF-2008), informação mais completa para Região Metropolitana de Belo Horizonte. - Alimentos avaliados: Pescado.		
Valor(es) base	Consumo de alimentos <i>per capita</i> na Região Metropolitana de Belo Horizonte: - Pescado: 1,85 kg/habitante. - População da Sub-bacia do Ribeirão Onça: 1.389.286 habitantes.		
Fonte	IBGE, 2010a.		
Produtividade (P)	Média Mundial: 0,0331 t/ha.		
Fator de Equivalência (EQF)	Cultivo: 0,37 gha/wha		
Cálculo da Pegada: Pesca e Aquicultura		Total (gha)	Per capita (gha)
(Valor / P) x EQF = (2.568,79 / 0,0331) x 0,37		28.666,90	0,020634267

Fonte: Autor, 2020.

Floresta

A categoria Floresta foi subdividida nas subclasses Madeira – Produtos e Papel (Consumo).

Madeira – Produtos

Para verificação do consumo de madeira na região foram utilizados dados dos Sistema de Controle de Atividades Florestais (CAF), do IEF-MG (2019), ano de referência 2014. Para tal, considerou-se o volume de madeira direcionado para os municípios que compõem a sub-bacia

do Ribeirão Onça, Belo Horizonte e Contagem. Não foi contabilizada a madeira sob forma de produto carvão vegetal, este insumo foi computado na classe CO₂ – Emissões como fonte de energia. O volume de madeira movimentado é apresentado no Quadro 3.11. Para obtenção do volume de madeira na área de estudo considerou-se o consumo *per capita* de madeira para cada município, em seguida aplicou-se um fator peso de 0,85 para o valor referente à Belo Horizonte e 0,15 para Contagem, o passo seguinte foi multiplicar o valor da operação pelo número de habitantes da região (1.389.286).

Quadro 3.11 - Volume de Madeira Direcionado para Sub-Bacia Onça

Cidade Destino	Origem – Minas Gerais (m ³)	Origem – Outros Estados (m ³)
Belo Horizonte	11.613,93	123.403,40
Contagem	1.242,88	40.195,13
Sub-bacia do Onça (estimado)	5.908,02	71.515,92

Fonte: IEF, 2019.

O consumo estimado de madeira na região foi de 0,056 m³ por habitante em 2014. O Quadro 3.12 dispõe os itens e critérios utilizados para processamento dos dados que compõem a classe Madeira - Produtos:

Quadro 3.12 - Pegada Ecológica: Classe Madeira – Produtos

Madeira – Produtos		Valor (2014)	Unidade
		77.426,94	m ³
Descrição	Consumo de madeira.		
Forma de Obtenção	Madeira (m ³ /habitante) x Número de habitantes.		
Considerações	- Dados obtidos do Instituto Estadual de Florestas (IEF, 2019). - Itens avaliados: volume de madeira direcionado para os municípios da sub-bacia (estimado).		
Valor(es) base	Consumo de madeira estimado para a região: - Madeira: 0,056 m ³ /habitante. - População da Sub-bacia do Ribeirão Onça: 1.389.286 habitantes.		
Fonte	IEF, 2019.		
Produtividade (P)	Média Mundial: 15 m ³ /ha.		
Fator de Equivalência (EQF)	Floresta: 1,28 gha/wha		
Cálculo da Pegada: Floresta – Madeira		Total (gha)	Per capita (gha)
(Valor / P) x EQF = (77.426,94 / 15) x 1,28		6.603,11	0,004752878

Fonte: Autor, 2020.

Papel

O consumo médio *per capita* de papel no Brasil no ano de 2014 foi de 49 kg (IBÁ, 2019), ao passo que se estima que foram consumidas cerca de 68.075 t de papel na região da sub-bacia do Ribeirão Onça. Para verificação da carga da subclasse sobre o meio ambiente é necessário, primeiramente, converter o peso do papel em madeira, cada 2 kg de madeira processada gera entre 1 e 1,5 kg de papel (BAHIA PULP, 2008). O passo seguinte é converter o peso de madeira (obtido do passo anterior) em volume (m³) de madeira, o maior rendimento na produção de

papel é obtido com a utilização de madeiras com densidade entre 470-490 kg/m³ (DIAS *et al.* apud MOKFIENSKI, 2007). Para cômputo da subclasse foi descontado o volume referente à reciclagem de papel, que no ano de 2014 apresentou uma taxa de 59,80% no contexto nacional (IBÁ, 2019). Os itens considerados encontram-se sintetizados no Quadro 3.13:

Quadro 3.13 - Pegada Ecológica: Classe Papel

Papel – Produtos		Valor (2014)	Unidade
		85.519,24	m ³
Descrição	Consumo de papel.		
Forma de Obtenção	Papel (m ³ /habitante) x Número de habitantes – Papel recuperado na reciclagem (m ³).		
Considerações	-		
Valor(es) base	Consumo de papel estimado para a região: - Madeira: 49 kg/habitante. - Taxa de conversão adotada: 2 kg de madeira -> 1,5 kg de papel. - Densidade adotada: 485 kg/m ³ - População da Sub-bacia do Ribeirão Onça: 1.389.286 habitantes.		
Fonte	BRACELPA, BAHIA PULP, Dias et. al, 2007.		
Produtividade (P)	Média Mundial: 15 m ³ /ha.		
Fator de Equivalência (EQF)	Floresta: 1,28 gha/wha		
Cálculo da Pegada: Floresta – Papel		Total (gha)	Per capita (gha)
(Valor / P) x EQF = (85.519,24 / 15) x 1,28		7.293,51	0,005249829

Fonte: Autor, 2020.

CO₂ – Emissões

Para cômputo das emissões de CO₂ na sub-bacia foram consideradas quatro subcategorias: **Combustíveis** (Asfaltos, Gás Liquefeito de Petróleo (GLP), Gasolina Automotiva (pura), Gasolina de Aviação, Óleo Diesel (puro), Querosene de Aviação, Querosene Iluminante, Etanol Hidratado, Carvão Vegetal e Lenha para Queima Direta); **Geração de Resíduos** (domésticos e públicos); **Abastecimento de Água**; e **Energia Elétrica**. Para determinar o quantitativo de insumos consumidos para cada subclasse na área de estudo considerou-se o consumo *per capita* dos mesmos para cada município, em seguida aplicou-se um fator peso de 0,85 para o valor referente à Belo Horizonte e 0,15 para Contagem, o passo seguinte foi multiplicar o valor da operação pelo número de habitantes da região (1.389.286). Os valores e taxas de emissão de CO₂ adotados para as subclasses Combustíveis, Geração de Resíduos, Abastecimento de Água e Energia Elétrica são apresentados nos Quadros 3.14, 3.15, 3.16 e 3.17, respectivamente.

Quadro 3.14 - Quantidade Consumida: Subclasse Combustíveis e Emissão de CO₂

Combustível	Quantidade	Unidade	Fator Emissão de CO ₂ (kg/unidade) *
Asfaltos	34.071	m ³	3,389
Gás Liquefeito de Petróleo (GLP)	44.659	t	2,931
Gasolina Automotiva	511.399.302	l	2,24
Gasolina de Aviação	956.035	l	2,26
Óleo Diesel	190.225.369	l	2,63

Combustível	Quantidade	Unidade	Fator Emissão de CO ₂ (kg/unidade) *
Querosene de Aviação	7.679	t	3,113
Querosene Iluminante	97	t	3,129
Etanol Hidratado	64.145.344	l	1,51
Carvão Vegetal	112.444	t	2,886
Lenha para Queima Direta	7,6	t	1,817

* Programa Brasileiro *GHG Protocol*: referências para inventários de emissões de gases do efeito estufa. Fonte: ANP, 2019; GHG, 2019; Autor, 2020.

Quadro 3.15 - Quantidade Consumida: Subclasse Geração de Resíduos

Geração <i>per capita</i>	Total	Fator Emissão de CO ₂ (kg/kg de resíduo)	Referência
1,121 (kg/dia)	568.447.206 (kg/ano)	0,33	DECICCO <i>et al.</i> , 1991 apud DIAS, 2002.

Fonte: SNIS, 2019; Autor, 2020.

Quadro 3.16 - Quantidade Consumida: Subclasse Abastecimento de Água

Consumo <i>per capita</i>	Total	Fator Emissão de CO ₂ (kg/m ³)	Referência
167,01 (l/dia)	84.688.999 (m ³ /ano)	0,37	Chambers <i>et al.</i> (2000) apud Andrade (2006)

Fonte: SNIS, 2019; Autor, 2020.

Quadro 3.17 - Quantidade Consumida: Subclasse Energia Elétrica

Consumo <i>per capita</i> (RMBH)	Total	Fator Emissão de CO ₂ (t/MWh)	Referência
2.261 (kWh/ano)	3.141.176 (MWh/ano)	0,1355	EPE (2019).

Fonte: CEMIG, 2019; Autor, 2020.

O Quadro 3.18 traz a síntese de itens e critérios utilizados para processamento dos dados que compõem a classe CO₂ – Emissões:

Quadro 3.18 - Pegada Ecológica: CO₂ – Emissões

CO ₂ - Emissões		Valor (2014)	Unidade
		3.171.734,16	ha ou tCO ₂
Descrição	Emissões de CO ₂ .		
Forma de Obtenção	Somatório de subclasses de emissão: Total Consumido (combustível, energia, água ou resíduo) x Fator de Emissão da Subclasse.		
Considerações	- Os dados foram processados por meio de planilha eletrônica disponibilizada pelo Programa Brasileiro GHG Protocol: referências para inventários de emissões de gases do efeito estufa. - Cômputo de emissões de cada subcategoria: Geração <i>per capita</i> x 365 dias x Fator de Emissão de CO₂. -- Para a subcategoria Geração de Resíduos o resultado da operação foi multiplicado por 2, a fim de compensar itens não considerados na equação, conforme recomendação de autores consultados na literatura.		
Valor(es) base	- Quadros 3.14, 3.15, 3.16 e 3.17 - Combustíveis: 2.339.594,77 tCO₂ - Geração de Resíduos: 375.175,16 tCO₂ - Abastecimento de Água: 31.335 tCO₂ - Energia Elétrica: 425.629 tCO₂		
Fonte	IEF, 2019; SNIS, 2019; CEMIG, 2019; ANP, 2019; GHG, 2019.		
Produtividade (P)	Média Mundial: 1,28 tCO ₂ /ha.		
Fator de Equivalência (EQF)	Carbono: 1,28 gha/wha		
Cálculo da Pegada: CO₂ – Emissões		Total (gha)	Per capita (gha)
(Valor / P) x EQF = (3.171.734,16 / 1,28) x 1,28		3.171.734,16	2,282995841

Fonte: Autor, 2020.

Infraestrutura

A classe Infraestrutura é diretamente determinada pela área ocupada por elementos urbanos, construções e itens estruturais, os componentes da classe são apresentados no Quadro 3.19:

Quadro 3.19 - Pegada Ecológica: Classe Infraestrutura

Infraestrutura – Área Construída		Valor (2014)	Unidade
		13.696	ha
Descrição	Área ocupada por itens de infraestrutura e construções.		
Forma de Obtenção	Mancha Urbana = Área do Onça – (Área de Vegetação + Área de Reservatórios)		
Considerações	-		
Valor(es) base	- Cobertura do solo: Vegetação: 8.138 ha Reservatórios: 303 ha Sub-bacia do Ribeirão Onça: 22.137 ha		
Fonte	UFMG, 2015.		
Produtividade (P)	-		
Fator de Equivalência (EQF)	Carbono: 2,50 gha/wha		
Cálculo da Pegada: Infraestrutura		Total (gha)	Per capita (gha)
(Valor / P) x EQF = 13.696 x 2,50		34.240	0,024663175

Fonte: Autor, 2020.

3.2.2 Biocapacidade

Os componentes utilizados para cômputo da Biocapacidade na sub-bacia do Ribeirão Onça e suas respectivas classes (Agricultura, Pecuária, Pesca, Floresta e Infraestrutura) são apresentados na Figura 3.14:

Figura 3.14 - Pegada Ecológica – Processamento de Classes Seleccionadas

Área Produtiva (ha)	Produtividade Local (YF)	Área calculada pela produtividade local (w ha)	Fator de Equivalência (EQF)	Biocapacidade (gha)
Agricultura Área (1)	X YF (1) =	Agricultura (1)	X EQF (1) =	Agricultura Biocapacidade
Pecuária Área (2)	X YF (2) =	Pecuária (2)	X EQF (2) =	Pecuária Biocapacidade
Pesca e Aquicultura Área (3)	X YF (3) =	Pesca (3)	X EQF (3) =	Pesca Biocapacidade
Floresta Área (4)	X YF (4) =	Floresta (4)	X EQF (4) =	Floresta Biocapacidade
Infraestrutura Área (5)	X YF (5) =	Infraestrutura (6)	X EQF (5) =	Infraestrutura Biocapacidade
				Biocapacidade Total

Fonte: Adaptado de GFN, 2019.

Agricultura e Pesca

Não foram identificadas áreas significativas destinadas à agricultura e produção de pescado na região, a biocapacidade referente a estas classes apresentou valor nulo, área igual a zero.

Pecuária

A estimativa da área destinada à pecuária considerou apenas o rebanho de bovinos registrado nos municípios de Belo Horizonte e Contagem no ano de 2014, dados oriundos do IBGE (2019a). O fator de produção foi obtido por meio de processamento de dados do Censo Agropecuário de 2017. A partir do número de animais registrados em Belo Horizonte (645) e Contagem (1.490), por meio de operação proporcional à área total de cada município (Belo Horizonte: 331 km²; Contagem: 195 km²) e sua respectiva ocupação na sub-Bacia do Ribeirão Onça (Belo Horizonte: 166,89 km², 75%; Contagem: 53,18, 25%), obteve-se um número estimado de 756 bovinos na região.

Com base na produtividade média de 4,73 e 1,88 bovinos por hectare para Belo Horizonte e Contagem, respectivamente, aplicou-se um fator peso de 0,85 para o valor referente à Belo Horizonte e 0,15 para Contagem, resultando em produtividade da sub-bacia de 4,30 bovinos por hectare. Ao dividir o número de bovinos (756) pela produtividade local (4,30), obteve-se a área estimada para comportar o gado, 175,71 ha. Considerando a produção média de carne para cada bovino brasileiro, 240 kg de carne bovina por animal (FAO, 2014), e o fator de produtividade local 1,03 t/ha, a região teria capacidade, hipotética, de fornecer 181,44 t de carne bovina, suficiente para atender cerca de 0,13% do consumo de alimentos de origem animal registrado em 2014. O Quadro 3.20 traz as informações básicas utilizadas para o cálculo da biocapacidade da classe Pecuária:

Quadro 3.20 - Biocapacidade: Classe Pecuária

Pecuária		Valor (2014)	Unidade
		175,71	ha
Descrição	Capacidade de fornecer alimentos de origem animal (carne bovina).		
Forma de Obtenção	Área de Pecuária (ha) x Fator de Produção da Pecuária Local x Fator de Equivalência.		
Considerações	- Dados obtidos da Pesquisa de Orçamentos Familiares (POF-2008), informação mais completa para Região Metropolitana de Belo Horizonte. - Alimentos avaliados: Carne bovina.		
Valor(es) base	- Bovinos: 756. - Produtividade local: 4,30 bovinos/ha.		
Fonte	IBGE, 2019a.		
Fator de Produção (FP)	12,88.		
Fator de Equivalência (EQF)	Pecuária: 0,46 gha/wha		
Biocapacidade: Pecuária		Total (gha)	Per capita (gha)
(Área Pecuária x FP x EQF = 175,71 x 12,88 x 0,46)		1.040,65	0,0007

Fonte: Autor, 2020.

Floresta

Há duas formas para computar a biocapacidade da classe Floresta, sendo uma referenciada à capacidade de determinada área em fornecer produtos madeireiros (m^3 de madeira/hectare), e outra, abordagem escolhida neste trabalho, relacionada à capacidade de determinada região de cobertura vegetal absorver CO_2 ($\text{tCO}_2/\text{hectare}$). Para estimar a área de vegetação foram processados dados geoespaciais referentes à RMBH (UFMG, 2015), a partir dos quais três categorias de vegetação com potencial de sequestro de carbono foram identificadas: Pastagem Herbácea (desconsiderada área hipoteticamente destinada à classe Pecuária); Arbórea Arbustiva Esparsa; Arbórea Arbustiva. As taxas de sequestro de carbono consideradas, áreas ocupadas por vegetação e respectivas referências são apresentadas no Quadro 3.21:

Quadro 3.21 - Taxa de Sequestro de Carbono pela Vegetação

Tipo de Vegetação	Área Ocupada (ha)	Sequestro (tCO_2/ha)	Referência
Pastagem Herbácea	3.214,29	2	(CERRI <i>et al.</i> , 2008).
Arbórea Arbustiva Esparsa	2.523,00	16,66	IPCC (2006): variação de 7,33 a 25,99 (considerado valor médio).
Arbórea Arbustiva	2.225,00	16,66	

Fonte: Autor, 2020.

As informações utilizadas para o cálculo da biocapacidade da classe Floresta estão dispostas no Quadro 3.22:

Quadro 3.22 - Biocapacidade: Classe Floresta

Floresta		Valor (2014)	Unidade
		7.962,29	ha
Descrição	Capacidade da vegetação local absorver CO ₂ .		
Forma de Obtenção	Somatório: Área Tipo de Vegetação (ha) x Taxa de Sequestro de Carbono x Fator de Equivalência.		
Considerações	-		
Valor(es) base	- Pastagem Herbácea: 3.214,29. Taxa de sequestro: 2 tCO ₂ /ha. - Arbórea Arbustiva Esparsa: 2.2523,00. Taxa de sequestro: 16,66 tCO ₂ /ha. - Arbórea Arbustiva: 2.225,00. Taxa de sequestro: 16,66 tCO ₂ /ha.		
Fonte	UFMG, 2015: base cartográfica (<i>shapefiles</i>).		
Fator de Produção (FP)	1,28.		
Fator de Equivalência (EQF)	Floresta: 1,28 gha/wha		
Biocapacidade: Floresta		Total (gha)	Per capita (gha)
Pastagem Herbácea x FP x EQF = 3.214,29 x 1,28 x 1,28		109.416,81	0,0788
Arbórea Arbustiva Esparsa x FP x EQF = 2.523,00 x 1,28 x 1,28			
Arbórea Arbustiva x FP x EQF = 2.225,00 x 1,28 x 1,28			

Fonte: Autor, 2020.

Infraestrutura

Para cômputo da oferta de serviços e infraestrutura disponíveis foi considerada a mancha urbana da sub-bacia, que totalizou 13.696 ha, e áreas de represamento de água significativo, com área

superficial de 303 ha, sendo a Lagoa da Pampulha a mais representativa, tendo como resultado 13.999 ha. As informações utilizadas para o cálculo da biocapacidade da classe Infraestrutura estão dispostas no Quadro 3.23:

Quadro 3.23 - Biocapacidade: Classe Infraestrutura

Infraestrutura		Valor (2014)	Unidade
		13.999	ha
Descrição	Capacidade de oferta de serviços de infraestrutura.		
Forma de Obtenção	(Área Urbana + Área de Reservatórios) x Fator de Equivalência.		
Considerações	-		
Valor(es) base	- Mancha Urbana: 13.696 ha. - Área de Reservatórios: 303 ha.		
Fonte	UFMG, 2015.		
Fator de Produção (FP)	1,56.		
Fator de Equivalência (EQF)	Infraestrutura: 2,50 gha/wha		
Biocapacidade: Infraestrutura		Total (gha)	Per capita (gha)
Valor x FP x EQF = 13.999 x 1,56 x 2,50		54.578,66	0,0393

Fonte: Autor, 2020.

3.3 Painei da Sustentabilidade – Seleção de Indicadores para a Sub-bacia do Ribeirão Onça

Manuais técnicos, artigos científicos, teses e dissertações foram utilizados para identificar princípios e padrões de aplicação do método, contatos por correio eletrônico com o pesquisador Jochen Jesinghaus, um dos principais desenvolvedores da metodologia, foram feitos visando obter orientações quanto ao melhor uso e validação dos resultados obtidos com a ferramenta. Embora o Painei da Sustentabilidade (PS) apresente uma lista de referência não oficial com 61 indicadores, os autores da ferramenta recomendam que a seleção de indicadores seja customizada e adequada à realidade do local avaliado, bem como aos objetivos do estudo e disponibilidade de dados (JESINGHAUS, 2019).

De acordo com Jesinghaus (2019), conforme informações obtidas via entrevista por e-mail eletrônico, o PS pode processar dados e comparar indicadores de duas formas: comparação de indicadores de diferentes localidades (cidades, bacias etc.), forma recomendada pelo autor, ou comparação de indicadores de uma determinada localidade tomando por referência um intervalo de tempo. Neste trabalho, especificamente, dentro dos objetivos estabelecidos, adotou-se trabalhar com o intervalo de tempo para a sub-bacia do Ribeirão Onça, de modo que

foram processados dados do período de 2010-2014 a fim de obter o nível de sustentabilidade do ano 2014.

Não foram identificadas na literatura consultada bases de indicadores específicos utilizando este método no âmbito de bacias hidrográficas. Este fator justifica a opção pela análise temporal, uma vez que em casos de comparações entre localidades distintas nem sempre é possível dispor de informações em quantidade e qualidade suficientes para propiciar comparações para todas as áreas de interesse. De modo complementar, as especificidades socioambientais características de diferentes bacias poderiam inviabilizar o processo de avaliação comparativa por meio do uso de indicadores, uma vez que muitos indicadores podem se mostrar incoerentes para espaços geográficos distintos.

A análise do período 2010-2014 teve como objetivo identificar o nível de evolução da sub-bacia e está embasada em trabalhos que utilizaram intervalos de tempo na aplicação do método (KRAMA, 2008; CARVALHO, 2012; BARBOSA, 2014; CECHETTI, 2009; CORRÊA, 2010). Neste trabalho foram selecionados 23 indicadores, distribuídos nas quatro dimensões básicas da ferramenta: ambiental (6), econômica (5), social (6) e institucional/política (6). Os indicadores foram criados, extraídos e/ou adaptados a partir da avaliação de 1.719 indicadores identificados em 33 documentos/estudos relacionados à aplicação de índices de sustentabilidade (SOUZA, 2019). Buscou-se inserir os indicadores mais amplos e representativos para o contexto de bacia hidrográfica urbana. Capacidade de síntese e possibilidade de replicação em análises de sustentabilidade para outras bacias hidrográficas também foram fatores considerados no processo de seleção. A Figura 3.15 apresenta uma representação básica das palavras mais frequentes disponíveis nos indicadores analisados:

Figura 3.15 - Nuvem de Palavras de Indicadores Extraídas de Estudos e Relatórios



Fonte: Autor, 2020.

As características, forma de obtenção e considerações a respeito de cada indicador selecionado são apresentadas nos próximos tópicos.

3.3.1 Dimensão Ambiental

Os seis indicadores selecionados para a dimensão ambiental e suas respectivas características são apresentados no Quadro 3.24:

Quadro 3.24 - PS: Indicadores Selecionados: Dimensão Ambiental

Indicador		Unidade	Valor (2010)	Valor (2014)
A1- Resíduos sólidos (destinação adequada)		%	100	100
Descrição	Percentual de disposição adequada dos resíduos sólidos urbanos coletados.			
Forma de Obtenção	DispAdequadaResíduos = quantidade de resíduos dispostos de forma adequada na sub-bacia (toneladas de resíduos sólidos urbanos dispostos de forma adequada).			
Considerações	Os municípios da sub-bacia destinam os resíduos sólidos urbanos a aterros sanitários.			
Valor(es) base	Áreas contaminadas: Sub-bacia do Onça: 52 (2010); 67 (2014) Destinação inadequada de resíduos sólidos urbanos recolhidos (Belo Horizonte e Contagem): 0 (2010); 0 (2014).			
Fonte	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2019).			
A2- DBO		mg/L	28,94	52,03
Descrição	Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO): média anual.			
Forma de Obtenção	Processamento de dados secundários (georreferenciados).			
Considerações	A DBO média foi obtida por meio da extração de dados de 38 pontos de monitoramento do IGAM dispostos na sub-bacia do Onça.			
Valor(es) base	Ano 2010: DBO média: 28,94; DQO média: 111,59; OD médio: 3,52. Ano 2014: DBO média: 52,03; DQO média: 109,52; OD médio: 3,71.			
Fonte	IGAM, 2019; PDRH-Velhas, 2015.			
A3- Índice de disponibilidade hídrica		-	2,22	2,15
Descrição	Taxa de disponibilidade hídrica por habitante na sub-bacia durante o ano, obtida pela relação entre a vazão média longo prazo da sub-bacia e o consumo de água <i>per capita</i> .			
Forma de Obtenção	Índice de disponibilidade hídrica = Vazão / Consumo de água Onde: Consumo de água = Consumo de água <i>per capita</i> anual			

Indicador		Unidade	Valor (2010)	Valor (2014)
	Vazão = Vazão média de longo prazo / Número de habitantes na sub-bacia			
Considerações	Calculado considerando a população estimada para o ano 2014, 1.389.286 habitantes; 2010, Censo 2010 (IBGE), 1.356.437 habitantes.			
Valor(es) base	Vazão média de longo prazo: 5,77 m ³ /s Consumo de água <i>per capita</i> (l/dia): - Belo Horizonte: 170,7 (2010), 171,3 (2014) - Contagem: 137,6 (2010), 142,7 (2014) Consumo de água <i>per capita</i> anual na sub-bacia: 60,49 m ³ (2010), 60,96 m ³ (2014)			
Fonte	Autor, 2019; Dados: SNIS, 2019; PDRH-Velhas, 2015.			
A4- Emissões de Gases de Efeito Estufa		tCO₂e/hab.	1,58	1,81
Descrição	Emissões <i>per capita</i> de dióxido de carbono (tCO ₂ e/hab.) durante o ano.			
Forma de Obtenção	Dados secundários.			
Considerações	Informações disponíveis apenas para o município de Belo Horizonte; o valor obtido para o ano 2014 refere-se a uma projeção, dado extraído de relatórios da prefeitura.			
Valor(es) base	Belo Horizonte: 1,58 (2010); 1,81 (2014)			
Fonte	BHTrans, 2014; BHtrans, 2016.			
A5- Poluição Atmosférica (Material Particulado PM10)		mg/m³	31,30	30,34
Descrição	Emissões de material partícula, PM10 no período de 24 h.			
Forma de Obtenção	Dados secundários.			
Considerações	Informações disponíveis apenas para o município de Belo Horizonte; o valor obtido para o ano 2014 refere-se a uma projeção, dado extraído de relatórios da prefeitura.			
Valor(es) base	Belo Horizonte: 31,30 (2010); 30,34 (2014)			
Fonte	BHTrans, 2016.			
A6- Vegetação		m²/habitante	56,95	52,21
Descrição:	Taxa de áreas vegetadas por habitante.			
Forma de Obtenção	Área de vegetação identificada / Número de habitantes na sub-bacia.			
Considerações	O parâmetro Percentual da área da bacia com cobertura vegetal natural foi determinado por meio da técnica de geoprocessamento NDVI (<i>normalized index vegetation index</i>). Utilizou-se imagens orbitais disponibilizada pela série LandSat 5, geradas em 29/05/2010 e 24/05/2014. Considerou-se vegetação áreas identificadas por meio da classificação semiautomatizada de imagem de satélite TM/Landsat 5, resolução espacial de 30 m.			
Valor(es) base	Área vegetada: 77,25 km ² (2010); 72,53 km ² (2014) Área sem vegetação: 144,10 km ² (2010); 148,79 km ² (2014)			
Fonte	Satélite TM/Landsat 5.			

Fonte: Autor, 2020.

3.3.2 Dimensão Social

Foram selecionados seis indicadores para a dimensão social, suas respectivas características são apresentadas no Quadro 3.25:

Quadro 3.25 - PS: Indicadores Seleccionados: Dimensão Social

Indicador		Unidade	Valor (2010)	Valor (2014)
S1- Índice de Vulnerabilidade Social (IVS)		-	0,303	0,253
Descrição	O IVS é índice de avaliação da vulnerabilidade social desenvolvido pelo IPEA, ele é calculado por meio da média aritmética dos subíndices IVS Infraestrutura Urbana, IVS Capital Humano e IVS Renda e Trabalho, ao todo são utilizados 16 indicadores. O valor do IVS varia entre 0 (melhor, menos vulnerável) e 1 (pior, mais vulnerável).			
Forma de obtenção	Dados secundários.			
Considerações	Foram utilizadas informações disponíveis para a Região Metropolitana de Belo Horizonte devido ao fato de não haver dados para o ano 2014 para os municípios de interesse.			
Valor(es) base	Região Metropolitana de Belo Horizonte: 0,303 (2010); 0,253 (2014)			
Fonte	IPEA, 2019.			
S2- Índice de serviços de saneamento básico		%	95,01	96,30
Descrição	Índice de atendimento da população urbana por serviços de saneamento: água, coleta de esgoto e coleta de resíduos sólidos.			
Forma de obtenção	$(PopAguaOnca) \times (PopEsgotoOnca) \times (PopResiduoOnca)$, onde: $PopAguaOnca = PopAguaBH \times 0,8515 + PopAguaCont \times 0,1515$ $PopEsgotoOnca = PopEsgotoBH \times 0,8515 + PopEsgotoCont \times 0,1515$ $PopResiduoOnca = PopResiduoBH \times 0,8515 + PopResiduoCont \times 0,1515$ PopAguaOnca = percentual da população atendida por abastecimento de água na sub-bacia do Onça; PopAguaBH = percentual da população atendida por abastecimento de água em Belo Horizonte; PopAguaCont = percentual da população atendida por abastecimento de água em Contagem; PopEsgotoOnca = percentual da população atendida por coleta de esgoto na sub-bacia do Onça; PopEsgotoBH = percentual da população atendida por coleta de esgoto em Belo Horizonte; PopEsgotoCont = percentual da população atendida por coleta de esgoto em Contagem; PopResiduoOnca = percentual da população atendida por coleta de resíduos na sub-bacia do Onça; PopResiduoBH = percentual da população atendida por coleta de resíduos em Belo Horizonte; PopResiduoCont = percentual da população atendida por coleta de resíduos em Contagem.			
Considerações	Não há informação para este indicador em termo de sub-bacia, o mesmo foi calculado por meio da média ponderada dos valores do indicador disponíveis para os municípios de Belo Horizonte e Contagem nos anos 2010 e 2014, tendo como pesos o tamanho da população de cada município na sub-bacia: Belo Horizonte, peso 0,8485; Contagem, peso 0,1515.			
Valor(es) base	- 2010 – Belo Horizonte / Contagem Índice de atendimento total de água: 100% / 99,66% Índice de atendimento total de esgoto referido aos municípios atendidos com água: 100% / 95,42% Taxa de cobertura do serviço de coleta de rdo em relação à população total do município: 95% / 100% - 2014 – Belo Horizonte / Contagem Índice de atendimento total de água: 100% / 99,66% Índice de atendimento total de esgoto referido aos municípios atendidos com água: 100% / 99,66% Taxa de cobertura do serviço de coleta de rdo em relação à população total do município: 96% / 98,68%			
Fonte	Autor, 2019. Dados: Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2019).			
S3- Homicídios		Por 100.000 habitantes	26,27	30,97
Descrição	Número de crimes homicídios registrados para cada grupo de 100.000 habitantes.			
Forma de obtenção	$(Homicidios_BH \times 0,8485) + (Homicidios_Cont \times 0,1515)$ Homicidios_BH = taxa de homicídios no município de Belo Horizonte Homicidios_Cont = taxa de homicídios no município de Contagem			
Considerações	Não há informação para este indicador em termo de sub-bacia, o mesmo foi calculado por meio da média ponderada dos valores do indicador disponíveis para os municípios de Belo Horizonte e Contagem nos anos 2010 e 2014, tendo como pesos o tamanho da população de cada município na sub-bacia: Belo Horizonte, peso 0,8485; Contagem, peso 0,1515.			
Valor(es) base	Belo Horizonte: 21,10 (2010); 29,75 (2014) Contagem: 32,88 (2010); 37,92 (2014)			
Fonte	SESP, 2011; SESP, 2019.			
S4- Ocorrências motivadas por eventos naturais		-	643	1061
Descrição	Número de ocorrências registradas pelo Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais que tiveram como causa/origem eventos naturais: incêndio, inundação, enchente, vendaval, evacuação de áreas de risco, inundação, deslizamentos, salvamento de pessoa ilhada, soterramento.			
Forma de obtenção	$RegOnca = RegOncaBH + RegOncaCont$ $RegOncaBH = (RegTotalBH \times AreaOncaBH) / AreaTotalBH$ $RegOncaCont = (RegTotalCont \times AreaOncaCont) / AreaTotalBH$			

Indicador		Unidade	Valor (2010)	Valor (2014)
	RegOncaBH = registro de ocorrências em Belo Horizonte proporcional à área da sub-bacia do Onça no município; RegOncaCont = registro de ocorrências em Contagem proporcional à área da sub-bacia do Onça no município; RegOnca: registros de ocorrências na sub-bacia do Onça; AreaOncaBH = área ocupada pela bacia do Onça no município de Belo Horizonte = 166,89 km ² ; AreaOncaCont = área ocupada pela bacia do Onça no município de Contagem = 53,18 km ² ; AreaTotalBH = área total do município de Belo Horizonte = 331 km ² ; AreaTotalCont = área total do município de Contagem = 195 km ² .			
Considerações	Não há informação para este indicador em termo de sub-bacia, o mesmo foi calculado por meio da média ponderada dos valores do indicador disponíveis para os municípios de Belo Horizonte e Contagem nos anos 2010 e 2014, tendo como pesos o tamanho da população de cada município na sub-bacia: Belo Horizonte, peso 0,8485; Contagem, peso 0,1515. Informação por região não disponibilizada pela fonte.			
Valor(es) base	Belo Horizonte: 916 (2010); 1864 (2014) Contagem: 666 (2010); 444 (2014)			
Fonte	Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais, 2019.			
S5- Internações por doenças relacionadas ao saneamento básico e notificações de agravos de doenças		Por 1.000 habitantes	23,26	3,77
Descrição	Número de internações/notificações por grupo de 1.000 habitantes (por local de residência): - Morbidade hospitalar por doenças relacionadas à transmissão por veiculação hídrica: Capítulo CID-10: I. Algumas doenças infecciosas e parasitárias (A00 - B99). - Notificações de Agravos de Doenças: casos de dengue.			
Forma de obtenção	$(InternacoesBH \times 0,8485 + InternacoesCont \times 0,1515) + (DengueBH \times 0,8485 + DengueCont \times 0,1515)$ InternacoesBH = número de internações por doenças de veiculação hídrica em Belo Horizonte InternacoesCont = número de internações por doenças de veiculação hídrica em Contagem DengueBH = número de notificações de casos de dengue em Belo Horizonte DengueCont = número de notificações de casos de dengue em Contagem			
Considerações	Não há informação para este indicador em termo de sub-bacia, o mesmo foi calculado por meio da média ponderada dos valores do indicador disponíveis para os municípios de Belo Horizonte e Contagem nos anos 2010 e 2014, tendo como pesos o tamanho da população de cada município na sub-bacia: Belo Horizonte, peso 0,8485; Contagem, peso 0,1515.			
Valor(es) base	- Internações Belo Horizonte: 3,04 (2010); 2,671 (2014) Contagem: 1,954 (2010); 1,72 (2014) - Dengue Belo Horizonte: 21,86 (2010); 1,27 (2014) Contagem: 12,05 (2010); 1,13 (2014)			
Fonte	Ministério da Saúde, 2019.			
S6- Mortalidade infantil		Por 1.000 nascidos vivos	11,59	9,97
Descrição	Número de óbitos infantis para cada grupo de 1.000 nascido vivos (por local de residência).			
Forma de obtenção	$(MortInfantilBH \times 0,8485) + (MortInfantilCont \times 0,1515)$ MortInfantilBH = taxa de obtidos infantisl em Belo Horizonte MortInfantilBH = taxa de obtidos infantisl em Belo Horizonte			
Considerações	Não há informação para este indicador em termo de sub-bacia, o mesmo foi calculado por meio da média ponderada dos valores do indicador disponíveis para os municípios de Belo Horizonte e Contagem nos anos 2010 e 2014, tendo como pesos o tamanho da população de cada município na sub-bacia: Belo Horizonte, peso 0,8485; Contagem, peso 0,1515.			
Valor(es) base	Belo Horizonte: 11,37 (2010); 9,96 (2014) Contagem: 12,86 (2010); 9,99 (2014)			
Fonte	Ministério da Saúde, 2019.			

Fonte: Autor, 2020.

3.3.3 Dimensão Econômica

O Quadro 3.26 apresenta os cinco indicadores selecionados para compor a dimensão econômica do PS e suas características.

Quadro 3.26 – PS: Indicadores Seleccionados: Dimensão Económica

Indicador		Unidade	Valor (2010)	Valor (2014)
E1- Desemprego		%	7,10	2,90
Descrição	Percentual de desempregados na Região Metropolitana de Belo Horizonte. Equivale à relação Desempregados/PEA (População Economicamente Ativa), e indica a proporção da PEA que se encontra na situação de desemprego aberto ou oculto.			
Forma de obtenção	Dados secundários.			
Considerações	Informações disponíveis apenas para a Região Metropolitana de Belo Horizonte.			
Valor(es) base	Região Metropolitana de Belo Horizonte: 7,10 (2010); 2,90 (2014)			
Fonte	FJP, 2011; IBGE, 2019b.			
E2- Produto Interno Bruto <i>per capita</i>		R\$	25.945,98	35.933,36
Descrição	Produto Interno Bruto (PIB) por habitante.			
Forma de obtenção	(PibBH x 0,8485) + (PibCont x 0,1515), onde: PibBH = Produto Interno Bruto <i>per capita</i> para o município de Belo Horizonte; PibCont = Produto Interno Bruto <i>per capita</i> para o município de Contagem.			
Considerações	Não há informação para este indicador em termo de sub-bacia, o mesmo foi calculado por meio da média ponderada dos valores do indicador disponíveis para os municípios de Belo Horizonte e Contagem nos anos 2010 e 2014, tendo como pesos o tamanho da população de cada município na sub-bacia: Belo Horizonte, peso 0,8485; Contagem, peso 0,1515.			
Valor(es) base	Belo Horizonte: R\$ 24.992,95 (2010); R\$ 35.024,98 (2014) Contagem: R\$ 31.743,14 (2010); R\$ 41.085,68 (2014)			
Fonte	IBGE, 2019c.			
E3- Equilíbrio Orçamentário		-	1,00	0,98
Descrição	Balanço financeiro anual da administração pública (poder executivo) considerando a soma das despesas e receitas dos municípios que integram a sub-bacia. Valores maiores do que um representam déficit, maiores, superávit.			
Forma de obtenção	(RecBH x 0,85 + RecCont x 0,15) / (DespBH x 0,85 + DespCont x 0,15), onde: RecBH = receitas financeiras de Belo Horizonte no ano; DespBH = despesas financeiras de Belo Horizonte no ano; RecCont = receitas financeiras de Contagem no ano; DespContBH = despesas financeiras de Contagem.			
Considerações	Não há informação para este indicador em termo de sub-bacia. Balanço Financeiro: - 2010: Belo Horizonte (-0,53%); Contagem (2,88%). - 2014: Belo Horizonte (-2,20%); Contagem (0,24%).			
Valor(es) base	- 2010: -- Belo Horizonte: Receitas: R\$ 5.349.446.381,93; Despesas R\$ 5.377.967.631,59 -- Contagem: Receitas: R\$ 893.058.006,72; Despesas R\$ 867.335.662,47 - 2014: -- Belo Horizonte: Receitas: R\$ 8.961.952.084,59; Despesas R\$ 9.159.144.742,86 -- Contagem: Receitas: R\$ 1.338.386.111,22; Despesas R\$ 1.335.179.706,49			
Fonte	Prefeitura Municipal de Belo Horizonte, 2019; Prefeitura Municipal de Contagem, 2019.			
E4- Inflação		%	5,68	6,91
Descrição	Inflação média anual. Referência: Índice de Preços ao Consumidor Amplo - IPCA, que mede a evolução dos gastos das famílias com renda de 1 a 40 salários mínimos para a Região Metropolitana de Belo Horizonte.			
Forma de obtenção	Dados secundários.			
Considerações	Informações disponíveis apenas para a Região Metropolitana de Belo Horizonte.			
Valor(es) base	Região Metropolitana de Belo Horizonte: 5,68 (2010); 6,91 (2014)			
Fonte	IPEAD, 2011. IPEAD, 2015.			
E5- Turismo – Índice de competitividade		-	74,90	78,50
Descrição	Índice de competitividade turística municipal, varia de zero (pior) a um (melhor).			
Forma de obtenção	Dados secundários.			
Considerações	Informações disponíveis apenas para o município de Belo Horizonte.			
Valor(es) base	Belo Horizonte: 74,90 (2010); 78,50 (2014)			
Fonte	Ministério do Turismo, 2011; Ministério do Turismo, 2015.			

Fonte: Autor, 2020.

3.3.4 Dimensão Institucional/Política

Para representar a dimensão institucional/política do PS foram selecionados seis indicadores, o Quadro 3.27 apresenta suas respectivas características:

Quadro 3.27 - PS: Indicadores Selecionados: Dimensão Institucional/Política

Indicador		Unidade	Valor (2010)	Valor (2014)
I1- Proporção de mulheres exercendo mandatos no poder legislativo		%	10,37	2,79
Descrição	Percentual de mulheres exercendo mandatos no poder legislativo municipal (câmara de vereadores). - Forma de obtenção:			
Forma de obtenção	(Eleitas_BH x 0,8485) + (Eleitas_Cont x 0,1515) Eleitas_BH = percentual de vereadoras eleitas no município de Belo Horizonte. Eleitas_Cont = percentual de vereadoras eleitas no município de Contagem.			
Considerações	A fim de contemplar o período de interesse foram considerados a listagem de vereadores eleitos em 2008 e 2012 (eleições municipais), contemplando a referência temporal estudo (2010-2014). Não há informação para este indicador em termo de sub-bacia, o mesmo foi calculado por meio da média ponderada dos valores do indicador disponíveis para os municípios de Belo Horizonte e Contagem nos anos 2010 e 2014, tendo como pesos o tamanho da população de cada município na sub-bacia: Belo Horizonte, peso 0,8485; Contagem, peso 0,1515.			
Valor(es) base	Belo Horizonte: 12,20 (2008); 2,44 (2012) Contagem: 0,00 (2008); 4,76 (2012)			
Fonte	Tribunal Regional Eleitoral de Minas Gerais – TRE-MG, 2019.			
I2- Base institucional de gestão socioambiental		-	0,80	1,00
Descrição	Conjunto de entidades e instrumentos para fomento e gestão socioambiental no território. Verificação da existência de: Plano Diretor do Município; Conselho/Secretaria Municipal de Meio Ambiente; Plano de Preparo e Resposta a Desastres Naturais/Sistemas de alerta de enchentes; Comitê de Bacia Hidrográfica; Plano Diretor de Recursos Hídricos; Cobrança pelo uso da água; Outorga de uso de recursos hídricos; Política de Mudanças Climáticas; Planos de Gestão de Resíduos Especiais (Volumosos, Serviços de Saúde); Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa.			
Forma de obtenção	Dados secundários.			
Considerações	Adotou-se como critérios de valoração da base de gestão institucional atribuir pontuação 0 (ausência do instrumento) ou 0,1 (presença do instrumento de gestão), de modo que pontuação final do indicador, obtida por meio do somatório, será um valor entre 0 e 1. Instrumentos avaliados, existência em ao menos um dos municípios (Belo Horizonte/Contagem): - Plano Diretor do Município; Conselho/Secretaria Municipal de Meio Ambiente; Plano de Preparo e Resposta a Desastres Naturais/Sistemas de alerta de enchentes; Comitê de Bacia Hidrográfica; Plano Diretor de Recursos Hídricos; Cobrança pelo uso da água; Outorga de uso de recursos hídricos; Política de Mudanças Climáticas; Planos de Gestão de Resíduos Especiais (Volumosos, Serviços de Saúde); Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa.			
Valor(es) base	Prefeitura Municipal de Belo Horizonte, 2019; Prefeitura Municipal de Contagem, 2019.			
I3- Índice de Perdas na Distribuição de Água		%	34,73	37,80
Descrição	Índice de perdas na distribuição de água aos consumidores.			
Forma de obtenção	(Perdas_BH x 0,8485) + (Perdas_Cont x 0,1515) - Perdas_BH = índice de perdas no sistema de distribuição de água no município de Belo Horizonte; - Perdas_Cont = índice de perdas no sistema de distribuição de água no município de Contagem.			
Considerações	Não há informação para este indicador em termo de sub-bacia, o mesmo foi calculado por meio da média ponderada dos valores do indicador disponíveis para os municípios de Belo Horizonte e Contagem nos anos 2010 e 2014, tendo como pesos o tamanho da população de cada município na sub-bacia: Belo Horizonte, peso 0,8485; Contagem, peso 0,1515.			
Valor(es) base	Belo Horizonte: 33,57 (2010); 37,05 (2014) Contagem: 41,29 (2010); 42,08 (2014)			
Fonte	SNIS, 2019.			
I4- Taxa passageiros em transporte coletivo		Por 100 habitantes	61,00	60,10
Descrição	Número de passageiros em transporte coletivo por grupo de 100 habitantes.			
Forma de obtenção	Dados secundários.			
Considerações	Informações disponíveis apenas para o município de Belo Horizonte.			
Valor(es) base	Belo Horizonte: 61,00 (2010); 60,10 (2014)			
Fonte	BHTrans, 2016.			

Indicador		Unidade	Valor (2010)	Valor (2014)
15- Resíduos sólidos destinados à reciclagem		%	1,37	0,93
Descrição	Taxa de material recolhido pela coleta seletiva (exceto matéria orgânica) em relação à quantidade total coletada de resíduos sólidos domésticos.			
Forma de obtenção	(Rec_BH x 0,8485) + (Rec_Cont x 0,1515) - Rec_BH = taxa de reciclagem no município de Belo Horizonte; - Rec_Cont = taxa de reciclagem no município de Contagem.			
Considerações	Não há informação para este indicador em termo de sub-bacia, o mesmo foi calculado por meio da média ponderada dos valores do indicador disponíveis para os municípios de Belo Horizonte e Contagem nos anos 2010 e 2014, tendo como pesos o tamanho da população de cada município na sub-bacia: Belo Horizonte, peso 0,8485; Contagem, peso 0,1515.			
Valor(es) base	Belo Horizonte: 1,47 (2010); 0,99 (2014) Contagem: 0,82 (2010); 0,57 (2014)			
Fonte	SNIS, 2019.			
16- Acesso à internet		%	59,39	77,40
Descrição	Percentual de domicílios com computador e acesso à internet.			
Forma de obtenção	Dados secundários.			
Considerações	Informações disponíveis apenas para a Região Metropolitana de Belo Horizonte.			
Valor(es) base	Região Metropolitana de Belo Horizonte: 59,39 (2010); 77,40 (2014).			
Fonte	IBGE, 2019d.			

Fonte: Autor, 2020.

3.3.5 Processamento dos Indicadores Selecionados

Os cálculos referentes à aplicação do método PS para a sub-bacia do Onça foram realizados por meio do *software MDG Dashboard*, versão *V52.1*. Inicialmente foram inseridos dados dos indicadores dos dois anos de referência, 2010 e 2014, contudo, após testes de sensibilidade, foram registrados valores de avaliação mais coerentes após a inserção de mais dados, ao passo que foram adicionadas informações dos anos 2011, 2012 e 2013. Alguns indicadores não dispunham de dados para todo o período avaliado, o *software* trata automaticamente a ausência de dados, desconsiderando-os no processamento dos cálculos. Os 23 indicadores selecionados são apresentados no Quadro 3.28:

Quadro 3.28 - Indicadores Selecionados – Painel da Sustentabilidade

	Indicadores	Valor (2010)	Valor (2011)	Valor (2012)	Valor (2013)	Valor (2014)
Ambiental	Emissões de Gases de Efeito Estufa (tCO ₂ e/habitante)	1,58	1,66	1,77	1,77	1,81
	Resíduos Sólidos (% destinação adequada)	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
	Vegetação (m ² /habitante)	57,00	-	-	-	52,20
	DBO	28,94	28,84	37,63	46,71	52,06
	Índice de Disponibilidade hídrica	2,22	2,08	2,05	2,06	2,15
Social	Índice de Vulnerabilidade Social - IVS	0,303	0,276	0,259	0,246	0,253
	Ocorrências motivadas por eventos naturais	643,477	1217,129	1102,212	838,622	1060,914
	Índice de Serviços de saneamento básico	0,950	0,953	0,958	0,961	0,963
	Mortalidade infantil	11,589	10,547	10,428	9,802	9,964
	Taxa de Homicídios	26,267	31,049	34,140	35,610	30,972
	Internações por doenças relacionadas ao saneamento básico e notificações de agravos de doenças	23,261	3,259	2,988	40,963	3,772

Indicadores		Valor (2010)	Valor (2011)	Valor (2012)	Valor (2013)	Valor (2014)
Econômica	Desemprego (%)	7,10	5,20	5,30	6,60	2,90
	Equilíbrio orçamentário	1,00	1,02	0,99	0,98	0,98
	Turismo (Índice de competitividade)	74,90	75,50		77,00	78,50
	Produto Interno Bruto <i>per capita</i> (R\$)	25.945,98	28.610,86	32.009,36	33.919,53	35.933,36
	Inflação (%)	5,68	7,22	5,75	6,14	6,91
Institucional	Taxa de passageiros em transporte coletivo (por 100 habitantes)	61,00	63,00	62,40	59,70	60,10
	Índice de Perdas na Distribuição de Água	34,73	34,84	36,64	37,52	37,80
	Resíduos sólidos urbanos destinados à reciclagem (%)	1,37	1,41	1,40	1,49	0,93
	Acesso à internet (percentual de domicílios)	59,39	64,86	70,33	75,80	77,40
	Proporção de Mulheres Exercendo Mandatos no Poder Legislativo (%)	10,40	10,40	10,40	2,79	2,79
	Base institucional de gestão socioambiental	0,80	-	-	-	1,00

Fonte: Autor, 2020.

3.4 Barômetro da Sustentabilidade – Seleção de Indicadores para a Sub-bacia do Ribeirão Onça

No que tange à seleção de indicadores para composição e aplicação do Barômetro da Sustentabilidade (BS), a metodologia é bastante flexível quanto às suas escolhas, permitindo ao pesquisador utilizar indicadores de acordo com as peculiaridades da área e o objetivo do estudo. No presente trabalho, a identificação das nuances e padrões de aplicação da metodologia foram analisadas por meio de consultas a manuais técnicos, artigos científicos, teses e dissertações que tiverem como objeto de estudo a ferramenta, de modo especial o documento de referência *Resource Kit for Sustainability Assessment*, IUCN (GUIJT & MOISEEV, 2001), que fundamenta metodologicamente o uso do BS.

Diferentemente da ferramenta Painel da Sustentabilidade, que pode ser aplicada em função de intervalo de tempo ou comparação entre diferentes localidades, o BS é aplicado somente com base na comparação de indicadores da área de estudo com valores de indicadores de outras localidades com referências e bases de dados confiáveis. Os cálculos referentes à aplicação do método Barômetro da Sustentabilidade para a sub-bacia do Onça foram realizados por meio do *software Microsoft Excel*, versão 2016.

O autor do método, Prescott-Allen (1999), sugere que a seleção de indicadores contemple as perspectivas dos atores envolvidos no processo de avaliação da sustentabilidade do objeto em estudo. Conforme apresentado no item 2.5.3 deste estudo, o BS tem como base duas dimensões (ecológica e humana) para avaliação, sendo estas subdivididas em 10 temas. A fim de melhor

delimitar a classificação e seleção dos indicadores, o documento de referência da metodologia traz uma lista de exemplos para direcionamento inicial. Deste modo, a seleção de indicadores para a ferramenta analisou os indicadores dispostos no manual, e, considerando que objetivo e objeto de estudo é o mesmo utilizado na aplicação do método Painel da Sustentabilidade, foram utilizados como base, e readequados (quando necessário), os 23 indicadores aplicados no Painel da Sustentabilidade. Sendo assim, foi obtida uma lista final com 29 indicadores: 19 mantidos do Painel, 4 derivados de indicadores do Painel e 6 novos indicadores.

O processo de adaptação e desmembramento de alguns indicadores foi necessário devido ao fato de o BS utilizar para cômputo dos valores dos indicadores uma Escala de Desempenho (ED) que tem como base a comparação, *benchmarkings* (melhores e piores valores obtidos de fontes confiáveis para avaliação/comparação de resultados). Optou-se por não utilizar alguns indicadores do Painel da Sustentabilidade pelo fato de não disporem de informações para composição da Escala de Desempenho. Quanto ao uso de novos indicadores, fundamentou-se na intenção de buscar contemplar todos os 10 temas recomendados para avaliação pelos autores da ferramenta. O Quadro 3.29 apresenta os indicadores selecionados e suas respectivas correspondências junto aos indicadores do Painel da Sustentabilidade:

Quadro 3.29 - Indicadores do Barômetro x Indicadores do Painel

Nº	Barômetro da Sustentabilidade Indicadores Selecionados	Painel da Sustentabilidade Indicadores de Referência
1	Acesso à internet (percentual de domicílios)	Acesso à internet (percentual de domicílios)
2	Áreas Contaminadas	Base institucional de gestão socioambiental
3	Base institucional de gestão socioambiental	DBO
4	** Consumo de água <i>per capita</i> (l/dia)	Desemprego (%)
5	DBO	Emissões de Gases de Efeito Estufa (tCO ₂ e/habitante)
6	* Dengue notificações de agravos de doenças (por 1.000 habitantes)	Equilíbrio orçamentário
7	Desemprego (%)	** Índice de Disponibilidade hídrica
8	Resíduos sólidos (% destinação adequada)	Índice de Perdas na Distribuição de Água
9	** Disponibilidade hídrica <i>per capita</i>	Índice de Serviços de saneamento básico (água, esgoto e resíduos)
10	Educação (IDH Educação)	Índice de Vulnerabilidade Social - IVS
11	Emissões de Gases de Efeito Estufa (tCO ₂ e/habitante)	Inflação (%)
12	Equilíbrio orçamentário	* Internações por doenças relacionadas ao saneamento básico e notificações de agravos de doenças (por 1.000 habitantes)
13	Focos de queimadas	Mortalidade infantil
14	Índice de Perdas na Distribuição de Água	Ocorrências motivadas por eventos naturais
15	Índice de Serviços de saneamento básico (água, esgoto e resíduos)	Poluição Atmosférica (Material Particulado PM10)
16	Índice de Vulnerabilidade Social - IVS	Produto Interno Bruto <i>per capita</i>
17	Inflação (%)	Proporção de Mulheres Exercendo Mandatos no Poder Legislativo (%)
18	* Internações por doenças relacionadas ao saneamento básico (por 1.000 habitantes)	Resíduos Sólidos (% destinação adequada)

Nº	Barômetro da Sustentabilidade Indicadores Seleccionados	Painel da Sustentabilidade Indicadores de Referência
19	Mortalidade infantil	Resíduos sólidos urbanos destinados à reciclagem (%)
20	Número de automóveis <i>per capita</i>	Taxa de Homicídios (por 100.000 habitantes)
21	Poluição Atmosférica (Material Particulado PM10)	Taxa de passageiros em transporte coletivo (por 100 habitantes)
22	Porcentagem da energia total proveniente de fontes renováveis, como parte do consumo total de energia da cidade (%)	Turismo (Índice de competitividade turística)
23	Produto Interno Bruto <i>per capita</i>	Vegetação (m ² /habitante)
24	Proporção de Mulheres Exercendo Mandatos no Poder Legislativo (%)	Nota: Verde: indicadores mantidos; Roxo: indicadores derivados do Painel; Vermelho: indicadores descartados; Azul: indicadores inseridos (novos). * Correspondência de derivação de indicador base. ** Correspondência de derivação de indicador base.
25	Resíduos sólidos urbanos destinados à reciclagem (%)	
26	Taxa de Homicídios (por 100.000 habitantes)	
27	Taxa de passageiros em transporte coletivo (por 100 habitantes)	
28	Turismo (Índice de competitividade turística)	
29	Vegetação arbórea por habitante (m ² /habitante)	

Fonte: Autor, 2020.

Os 19 indicadores aproveitados e os quatro derivados do Painel da Sustentabilidade tiveram sua descrição, metodologia, forma de obtenção e características descritas no item 3.3 deste trabalho. A fim de evitar redundância, os mesmos não serão replicados neste tópico, que se limitará a apresentar os seis indicadores que foram inseridos (Quadro 3.30): Focos de queimadas (nº); Energia total proveniente de fontes renováveis, como parte do consumo total de energia da cidade (%); Educação (IDH Educação); Número de automóveis *per capita*.; Vegetação arbórea por habitante (m²/habitante); Áreas contaminadas (nº).

Quadro 3.30 - Novos Indicadores: Barômetro da Sustentabilidade

Indicador		Unidade	Valor (2010)	Valor (2014)
Focos de queimadas		-	-	103
Descrição	Registros de queimadas identificados na sub-bacia.			
Forma de obtenção	Espacialização de dados secundários.			
Considerações				
Valor(es) base	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2019.			
Porcentagem da energia total proveniente de fontes renováveis, como parte do consumo total de energia da cidade (%)		%	-	39,80
Descrição	Porcentagem da energia total proveniente de fontes renováveis, como parte do consumo total de energia da cidade.			
Forma de obtenção	Dados secundários.			
Considerações	Informações disponíveis apenas para o município de Belo Horizonte.			
Valor(es) base	Empresa de Pesquisa Energética (EPE), 2019.			
Número de automóveis <i>per capita</i>		-	-	0,64
Descrição	Número de automóveis <i>per capita</i>			
Forma de obtenção	Dados secundários.			
Considerações				
Valor(es) base	IBGE.			
Educação (IDH Educação)		%	-	0,745
Descrição	Índice de Desenvolvimento Humano, dimensão Educação.			
Forma de obtenção	Dados secundários.			
Considerações	Informações disponíveis apenas para a Região Metropolitana de Belo Horizonte.			
Valor(es) base	ADH - Atlas de Desenvolvimento Humano, 2019.			
Vegetação arbórea por habitante		m²/habitante	-	16,02
Descrição	Taxa de áreas com cobertura vegetal do tipo arbórea arbustiva por habitante.			

Indicador	Unidade	Valor (2010)	Valor (2014)
Forma de obtenção	Área coberta por vegetação arbórea arbustiva / Número de habitantes na sub-bacia.		
Considerações	Vegetação de referência extraída por meio de arquivos georreferenciados (<i>shapefile</i>) processados pela UFMG – 2015.		
Valor(es) base	UFMG, 2015; Hsu <i>et al.</i> , 2018.		
Áreas Contaminadas		-	67
Descrição	Número de áreas contaminadas monitoradas pela FEAM.		
Forma de obtenção	Espacialização de dados secundários.		
Considerações			
Valor(es) base	FEAM, 2019.		

Fonte: Autor, 2020.

3.4.1 Escala de Desempenho: Dimensões Bem-estar Ecológico e Humano

Os parâmetros para a Escala de Desempenho (ED) para a Dimensão Bem-estar Ecológico e Bem-estar Humano são apresentados, respectivamente, nos Quadros 3.31 e 3.32. Os resultados dos cálculos dos indicadores na Escala do Barômetro (EB), obtidos pela equação Eq. 17 (item 2.5.3 deste trabalho), também são exibidos.

Quadro 3.31 - Escala de Desempenho: Dimensão Bem-estar Ecológico

Indicador	Tema	Limite Inferior	Limite Superior	Valor (EB)
DBO	Água	10	3	0
Referências para elaboração da ED	- Limite inferior: 10 mg/L (Resolução CONAMA 357/2005). - Limite superior: 3 mg/L (Resolução CONAMA 357/2005). - Valor do indicador (2014): 52,06 mg/L.			
Escopo geográfico	Indeterminado.			
Disponibilidade hídrica per capita	Água	1.700	6.800	0
Referências para elaboração da ED	- Limite inferior: 1.700 m³/hab./ano (Falkenmark and Widstrand, 1992). - Limite superior: 6.800 m³/hab./ano (Falkenmark and Widstrand, 1992). - Valor do indicador (2014): 131 m³/hab./ano.			
Escopo geográfico	Indeterminado.			
Consumo de água per capita (l/dia)	Água	251	164	96,50
Referências para elaboração da ED	- Limite inferior: 251 l/dia, Vitória/ES (SNIS, 2014). - Limite superior: 164 l/dia, Curitiba (SNIS, 2014). - Valor do indicador (2014): 167 l/dia.			
Escopo geográfico	Capitais brasileiras das regiões Sul e Sudeste (exceto Rio de Janeiro, valor muito elevado, 330 l/dia).			
Emissões de Gases de Efeito Estufa (tCO₂e/habitante)	Ar	10	5	100
Referências para elaboração da ED	- Limite inferior: 10 tCO₂e/habitante; Indicadores da Iniciativa Cidades Emergentes e Sustentáveis (BID, 2013). - Limite superior: 5 tCO₂e/habitante; Indicadores da Iniciativa Cidades Emergentes e Sustentáveis (BID, 2013). - Valor do indicador (2014): 1,81 tCO₂e/habitante.			
Escopo geográfico	América Latina.			
Poluição Atmosférica (Material Particulado PM10)	Ar	250	0	87,86
Referências para elaboração da ED	- Limite inferior: 250 (Decreto Estadual nº 59113 de 23/04/2013), CETESB. - Limite superior: 0 ((Decreto Estadual nº 59113 de 23/04/2013), CETESB). - Valor do indicador (2014): 30,34.			
Escopo geográfico	Estadual, São Paulo, Brasil.			
Vegetação Arbórea (m²/habitante)	Espécies e população	5	15	100
Referências para elaboração da ED	- Limite inferior: 0,29 m²/habitante; Cobertura arbórea per capita, Lima (Peru), (Hsu <i>et al.</i>, 2018). - Limite superior: 41,17 m²/habitante (Hsu <i>et al.</i>, 2018). - Valor do indicador (2014): 16,02 m²/habitante.			
Escopo geográfico	Global (inferior) e Global (superior).			

Indicador	Tema	Limite Inferior	Limite Superior	Valor (EB)
Focos de queimadas	Espécies e população	103	10	0
Referências para elaboração da ED	- Limite inferior: 103; Número de focos registrados em 2010 (Autor, 2019). - Limite superior: 10; Número de focos registrados em 2006 (Autor, 2019). - Valor do indicador (2014): 103.			
Escopo geográfico	Sub-bacia do Ribeirão Onça.			
Áreas contaminadas	Solo	136	0	50,74
Referências para elaboração da ED	- Limite inferior: 136; Número de registros de áreas contaminadas na sub-bacia do Ribeirão Arrudas, maior concentração do Estado de Minas Gerais (Autor, 2019). - Limite superior: 0 (Autor, 2019). - Valor do indicador (2014): 67.			
Escopo geográfico	Sub-bacia do Ribeirão Onça.			
Destinação adequada de resíduos (%)	Solo	0	100	100
Referências para elaboração da ED	- Limite inferior: 0% (Autor, 2019). - Limite superior: 100% (Autor, 2019). - Valor do indicador (2014): 100%.			
Escopo geográfico	Indeterminado.			
Resíduos sólidos urbanos destinados à reciclagem (%)	Uso de recursos	0,94	6,63	0
Referências para elaboração da ED	- Limite inferior: 0,94%, Rio de Janeiro/RJ, 2014 (Autor, 2019). - Limite superior: 6,63%, Curitiba/PR, 2014 (Autor, 2019). - Valor do indicador (2014): 0,93%.			
Escopo geográfico	Capitais brasileiras das regiões Sudeste e Sul.			
Energia total proveniente de fontes renováveis, como parte do consumo total de energia da cidade (%)	Uso de recursos	43,60	78,70	0
Referências para elaboração da ED	- Limite inferior: 43,60%, Brasil, 2014 (Autor, 2019). - Limite superior: 78,70%, Brasil, 1970 (Autor, 2019). - Valor do indicador (2014): 39,80%.			
Escopo geográfico	Brasil.			

Fonte: Autor, 2020.

Quadro 3.32 - Escala de Desempenho: Dimensão Bem-estar Humano

Indicador	Tema	Limite Inferior	Limite Superior	Valor (EB)
Índice de Vulnerabilidade Social - IVS	Equidade	0,294	0,160	32,59
Referências para elaboração da ED	- Limite inferior: 0,294, Região Metropolitana de Recife/PE, 2014 (Autor, 2019). - Limite superior: 0,160, Região Metropolitana de Curitiba/PR, 2014 (Autor, 2019). - Valor do indicador (2014): 0,253.			
Escopo geográfico	Regiões Metropolitanas brasileiras.			
Proporção de Mulheres Exercendo Mandatos no Poder Legislativo (%)	Equidade	0,00	28,57	9,77
Referências para elaboração da ED	- Limite inferior: 0%, 2012 (Autor, 2019). - Limite superior: 28,57%, Maceió/AL, 2012 (Autor, 2019). - Valor do indicador (2014): 2,79%.			
Escopo geográfico	Municípios brasileiros.			
Base institucional de gestão socioambiental	Comunidade	0,00	1	100
Referências para elaboração da ED	- Limite inferior: 0, 2014 (Autor, 2019). - Limite superior: 1, 2014 (Autor, 2019). - Valor do indicador (2014): 1.			
Escopo geográfico	Indeterminado.			
Taxa de Homicídios (por 100.000 habitantes)	Comunidade	87,90	13,20	82,50
Referências para elaboração da ED	- Limite inferior: 87,90, Fortaleza/CE, 2014 (Autor, 2019). - Limite superior: 13,20, São Paulo/SP, 2014 (Autor, 2019). - Valor do indicador (2014): 26,27.			
Escopo geográfico	Capitais brasileiras.			
Taxa de passageiros em transporte coletivo (por 100 habitantes)	Comunidade	51,90	74,00	37,10
Referências para elaboração da ED	- Limite inferior: 51,90, Belo Horizonte/MG, 2004 (Autor, 2019). - Limite superior: 74,00, Belo Horizonte/MG, 1996 (Autor, 2019). - Valor do indicador (2014): 60,10.			

Indicador		Tema	Limite Inferior	Limite Superior	Valor (EB)
Escopo geográfico	Município de Belo Horizonte.				
Número de automóveis <i>per capita</i>		Comunidade	0,4	0,3	0
Referências para elaboração da ED	- Limite inferior: 0,4 automóveis/ /habitante; Indicadores da Iniciativa Cidades Emergentes e Sustentáveis (BID, 2013). - Limite superior: 0,3 automóveis/ /habitante; Indicadores da Iniciativa Cidades Emergentes e Sustentáveis (BID, 2013). - Valor do indicador (2014): 0,64 automóveis/habitante.				
Escopo geográfico	América Latina.				
Índice de perdas na distribuição de água		Comunidade	45	30	48
Referências para elaboração da ED	- Limite inferior: 45%; Indicadores da Iniciativa Cidades Emergentes e Sustentáveis (BID, 2013). - Limite superior: 30%; Indicadores da Iniciativa Cidades Emergentes e Sustentáveis (BID, 2013). - Valor do indicador (2014): 37,80%.				
Escopo geográfico	América Latina.				
Acesso à internet (percentual de domicílios)		Conhecimento e cultura	48	88,1	73,32
Referências para elaboração da ED	- Limite inferior: 48,00%, Região Metropolitana de Belém/PA, 2014 (Autor, 2019). - Limite superior: 88,10%, Região Metropolitana de Curitiba/PR, 2014 (Autor, 2019). - Valor do indicador (2014): 77,40%.				
Escopo geográfico	Regiões Metropolitanas brasileiras.				
Educação (IDH Educação)		Conhecimento e cultura	0,704	0,809	43,81
Referências para elaboração da ED	- Limite inferior: 0,704, Região Metropolitana de Porto Alegre/RS, 2014 (Autor, 2019). - Limite superior: 0,809, Região Metropolitana de São Paulo/SP, 2014 (Autor, 2019). - Valor do indicador (2014): 0,745.				
Escopo geográfico	Regiões Metropolitanas brasileiras.				
Desemprego (%)		Riqueza	12,00	7,00	100
Referências para elaboração da ED	- Limite inferior: 12%; Indicadores da Iniciativa Cidades Emergentes e Sustentáveis (BID, 2013). - Limite superior: 7%; Indicadores da Iniciativa Cidades Emergentes e Sustentáveis (BID, 2013). - Valor do indicador (2014): 2,9%.				
Escopo geográfico	América Latina.				
Equilíbrio orçamentário		Riqueza	0,9	1,00	80
Referências para elaboração da ED	- Limite inferior: 0,9; 2014 (Autor, 2019). - Limite superior: 1, 2014 (Autor, 2019). - Valor do indicador (2014): 0,98.				
Escopo geográfico	Indeterminado.				
Turismo - Índice de Competitividade		Riqueza	52,10	82,50	86,82
Referências para elaboração da ED	- Limite inferior: 52,10, Macapá/AP, 2014 (Autor, 2019). - Limite superior: 82,50, São Paulo/SP, 2014 (Autor, 2019). - Valor do indicador (2014): 78,50.				
Escopo geográfico	Capitais brasileiras.				
Produto Interno Bruto <i>per capita</i>		Riqueza	13.506,19	79.099,77	34,19
Referências para elaboração da ED	- Limite inferior: R\$ 13.506,19, Belém/PA, 2014 (Autor, 2019). - Limite superior: R\$ 79.099,77, Brasília/DF, 2014 (Autor, 2019). - Valor do indicador (2014): R\$ 35.933,56.				
Escopo geográfico	Capitais brasileiras.				
Índice de Serviços de saneamento básico (água, esgoto e resíduos)		Saúde e população	55,86	100	91,62
Referências para elaboração da ED	- Limite inferior: 55,86%, Florianópolis/SC, 2014 (Autor, 2019). - Limite superior: 100% (Autor, 2019). - Valor do indicador (2014): 96,30%.				
Escopo geográfico	Capitais brasileiras das regiões Sudeste e Sul (inferior).				
Mortalidade infantil (menores que 5 anos, por 1.000 nascidos vivos)		Saúde e população	19,29	7,74	80,69
Referências para elaboração da ED	- Limite inferior: 19,29, Macapá/AP, 2014 (Autor, 2019). - Limite superior: 7,74, Curitiba/PR, 2014 (Autor, 2019). - Valor do indicador (2014): 9,97.				
Escopo geográfico	Capitais brasileiras.				
Internações por doenças relacionadas ao saneamento básico (por 1.000 habitantes)		Saúde e população	4,95	1,61	72,84
Referências para elaboração da ED	- Limite inferior: 4,95, Porto Alegre/RS, 2014 (Autor, 2019). - Limite superior: 1,61, Rio de Janeiro/RJ, 2014 (Autor, 2019).				

Indicador	Tema	Limite Inferior	Limite Superior	Valor (EB)
- Valor do indicador (2014): 2,52.				
Escopo geográfico	Capitais brasileiras das regiões Sudeste e Sul.			
Dengue, notificações de agravos de doenças (por 1.000 habitantes)	Saúde e população	9,08	0,01	86,30
Referências para elaboração da ED	- Limite inferior: 9,08, Vitória/ES, 2014 (Autor, 2019). - Limite superior: 0,01, Porto Alegre/RS, 2014 (Autor, 2019). - Valor do indicador (2014): 1,25.			
Escopo geográfico	Capitais brasileiras das regiões Sudeste e Sul.			

Fonte: Autor, 2020.

O Quadro 3.33 apresenta todos os indicadores selecionados para o BS, valores de referência e limites para a escala de desempenho:

Quadro 3.33 - Indicadores do BS, Características e Valores de Referência

Indicadores	Valor (2014)	Limite Inferior	Limite Superior	Valor EBS	Tema
Dimensão Bem-estar Ecológico					
DBO	52,06	10	3	0	Água
Disponibilidade hídrica <i>per capita</i>	131	1700	6800	0	
Consumo de água <i>per capita</i> (l/dia)	167	250	164	96,51	
Emissões de Gases de Efeito Estufa (tCO2e/habitante)	1,81	10	5	100	Ar
Poluição Atmosférica (MP10)	30,34	250	0	87,86	
Vegetação Arbórea (m²/habitante)	16,02	0,29	41,17	38,57	Espécies e população
Focos de queimadas	103	103	10	0	
Áreas Contaminadas	67	136	0	50,74	Solo
Destinação inadequada de resíduos (%)	0	100	0	100	
Resíduos sólidos urbanos destinados à reciclagem (%)	0,93	0,94	6,63	0,00	Uso de Recursos
Porcentagem da energia total proveniente de fontes renováveis (%)	39,8	43,6	78,7	0,00	
Dimensão Bem-estar Humano					
Índice de Vulnerabilidade Social - IVS	0,253	0,294	0,16	32,59	Equidade
Proporção de Mulheres Exercendo Mandatos no Poder Legislativo (%)	2,79	0	28,57	9,77	
Base institucional de gestão socioambiental	1	0	1	100,00	Comunidade
Taxa de Homicídios (por 100.000 habitantes)	30,97	87,9	13,2	76,21	
Taxa de passageiros em transporte coletivo (por 100 habitantes)	60,1	51,9	74	37,10	
Número de automóveis <i>per capita</i>	0,64	0,4	0,3	0,00	
Índice de Perdas na Distribuição de Água	37,8	45	30	48,00	
Acesso à internet (%)	77,4	48	88,1	73,32	Conhecimento e cultura
Educação (IDH Educação)	0,745	0,704	0,809	43,81	
Desemprego (%)	2,9	12	7	100,00	Riqueza
Equilíbrio orçamentário	0,98	0,9	1	80,00	
Turismo (Índice de competitividade turística)	78,5	52,1	82,5	86,82	

Indicadores	Valor (2014)	Limite Inferior	Limite Superior	Valor EBS	Tema
Produto Interno Bruto <i>per capita</i>	35.933,56	13.506,19	79.099,77	34,19	Saúde e População
Inflação (%)	6,91	12,53	2,95	58,65	
Índice de Serviços de saneamento básico (água, esgoto e resíduos)	96,3	55,86	100	91,62	
Mortalidade infantil	9,97	19,29	7,74	80,69	
Internações por doenças relacionadas ao saneamento básico (por 1.000 habitantes)	2,52	4,95	1,61	72,84	
Dengue notificações de agravos de doenças (por 1.000 habitantes)	1,25	9,08	0,01	86,30	

Fonte: Autor, 2020.

3.5 WSI – Seleção de Indicadores para a Sub-bacia do Ribeirão Onça

O WSI dispõe de uma lista de indicadores pré-definidos (15), apresentada no Quadro 3.34:

Quadro 3.34 - WSI – Lista de indicadores

Indicadores		Parâmetros		
		Pressão	Estado	Resposta
Hidrologia	Quantidade	Variação da disponibilidade hídrica <i>per capita</i> da bacia no período	Disponibilidade hídrica <i>per capita</i> na bacia (média de longo período)	Melhorias na eficiência do uso da água no período
	Qualidade	Variação da DBO5 na bacia no período	DBO5 na bacia (média de longo período)	Melhorias no tratamento/disposição de esgoto no período
Ambiente		EPI da bacia (Rural e Urbano) no período	% da área da bacia com cobertura vegetal natural	Evolução das áreas de conservação na bacia no período
Vida		Variação do PIB <i>per capita</i> na bacia no período	IDH da bacia (medido pela população)	Evolução do IDH da bacia no período
Política		Variação do IDH-Educação na bacia no período	Capacidade institucional e de gestão de recursos hídricos na bacia	Evolução dos gastos com gestão de recursos hídricos na bacia no período

Fonte: Adaptado de Chaves & Alipaz (2007).

Para refinamento conceitual e melhor aplicabilidade do método WSI foram selecionados artigos científicos e consultas via correio eletrônico com um dos desenvolvedores da metodologia, Henrique Chaves (CHAVES, 2019), da Universidade de Brasília - UnB. Diferentemente dos outros métodos selecionados neste estudo (Pegada Ecológica, Painel da Sustentabilidade e Barômetro da Sustentabilidade), por apresentar indicadores pré-definidos, o WSI não está sujeito a subjetividades no processo de seleção, embora tenham sido observados casos na literatura. Os critérios de variação e respectiva pontuação no qual cada indicador é analisado foram definidos pelos autores conforme experiências acadêmicas/profissionais e validações empíricas. Cálculos referentes à aplicação do WSI para a sub-bacia do Onça foram realizados por meio do *software Microsoft Excel*, versão 2016.

3.5.1 Pressão: Indicadores e Pontuação de Parâmetros

O Quadro 3.35 apresenta os indicadores e parâmetros utilizados para cômputo da pressão antrópica exercida sobre a sub-bacia do Ribeirão Onça:

Quadro 3.35 - WSI – Indicadores do Grupo Pressão

Indicador		Unidade	Valor (2010)	Valor (2014)
Variação da disponibilidade hídrica <i>per capita</i> da bacia		m³/hab./ano	134,15	130,98
Descrição	Variação da disponibilidade hídrica por habitante na sub-bacia no período.			
Forma de obtenção	$\left(\frac{\text{Vazão_per_Capita 2014}}{\text{Vazão_per_Capita 2010}} - 1 \right) \times 100$ Onde, Vazão_per_Capita = (Vazão média de longo prazo x Segundos no Ano) / (Número de habitantes na sub-bacia no Ano)			
Considerações	Calculado considerando a população estimada para o ano 2014, 1.389.286 habitantes; 2010, Censo 2010 (IBGE), 1.356.437 habitantes.			
Valor(es) base	Vazão média de longo prazo: 5,77 m³/s			
Fonte	PDRH-Velhas, 2015; IBGE, 2011.			
Variação da DBO5 na bacia no período (média)		mg/L	28,94	52,03
Descrição	Variação da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO): média anual.			
Forma de obtenção	Processamento de dados secundários (georreferenciados)			
Considerações	A DBO média foi obtida por meio da extração de dados de 38 pontos de monitoramento do IGAM dispostos na sub-bacia do Onça.			
Valor(es) base	Ano 2010: DBO média: 28,94; DQO média: 111,59; OD médio: 3,52. Ano 2014: DBO média: 52,03; DQO média: 109,52; OD médio: 3,71.			
Fonte	PDRH-Velhas, 2015; IGAM, 2019.			
EPI da bacia (Rural e Urbano) no período		m²/habitante	56,95	52,21
Descrição	Indicador de pressão ambiental (EPI - <i>Environmental Pressure Index</i>) estimado pela variação média da área agrícola e urbana da bacia no período.			
Forma de obtenção	$EPI = (\%Va + \%Vu) / 2$ - EPI = Indicador de pressão ambiental - %Va = percentual de variação de áreas agrícolas na bacia, no período; - %Vu = percentual de variação da população urbanas da bacia no período.			
Considerações	Todos os setores censitários identificados na sub-bacia estão caracterizados como área urbana pelo IBGE, deste modo, por se tratar de área totalmente urbana, bem como sua população, não foram consideradas áreas destinadas à agricultura na região (não houve variação de área agrícola). A projeção da variação da população urbana no período foi de 2,42%.			
Valor(es) base	Área vegetada: 77,25 km² (2010); 72,53 km² (2014) Área sem vegetação: 144,10 km² (2010); 148,79 km² (2014)			
Fonte	IBGE, 2011; UFMG, 2015.			
Variação do PIB <i>per capita</i> na bacia no período		R\$	25.945,98	35.933,36
Descrição	Variação do PIB <i>per capita</i> na bacia no período.			
Forma de obtenção	$(\text{PibBH} \times 0,8485) + (\text{PibCont} \times 0,1515)$, onde: PibBH = Produto Interno Bruto <i>per capita</i> para o município de Belo Horizonte; PibCont = Produto Interno Bruto <i>per capita</i> para o município de Contagem.			
Considerações	Não há informação para este indicador em termo de sub-bacia, o mesmo foi calculado por meio da média ponderada dos valores do indicador disponíveis para os municípios de Belo Horizonte e Contagem nos anos 2010 e 2014, tendo como pesos o tamanho da população de cada município na sub-bacia: Belo Horizonte, peso 0,8485; Contagem, peso 0,1515.			
Valor(es) base	Belo Horizonte: R\$ 24.992,95 (2010); R\$ 35.024,98 (2014) Contagem: R\$ 31.743,14 (2010); R\$ 41.085,68 (2014)			
Fonte	IBGE, 2019c.			
Variação do IDH-Educação na bacia no período		-	0,694	0,745
Descrição	Variação do Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), dimensão Educação no período			
Forma de obtenção	$\left(\frac{\text{IDH Educação 2014}}{\text{IDH Educação 2010}} - 1 \right) \times 100$			
Considerações	Informações disponíveis apenas para a Região Metropolitana de Belo Horizonte.			
Valor(es) base	Região Metropolitana de Belo Horizonte: 0,694 (2010), 0,745 (2014)			
Fonte	ADH - Atlas de Desenvolvimento Humano, 2019.			

Fonte: Autor, 2020.

O Quadro 3.36 apresenta as referências de pontuação dos parâmetros e os resultados do processamento dos dados dos indicadores do grupo Pressão:

Quadro 3.36 - WSI – Pontuação – Indicadores do Grupo Pressão

Indicadores		Pressão				
		Parâmetro	Variação	Pontuação	Valor do Parâmetro	Resultado
Hidrologia	Quantidade	$\Delta 1$ - Variação da disponibilidade hídrica <i>per capita</i> da bacia no período (m³/hab./ano)	$\Delta 1 < -20\%$ $-20\% < \Delta 1 < -10\%$ $-10\% < \Delta 1 < 0\%$ $0 < \Delta 1 < +10\%$ $\Delta 1 > +10\%$	0 0,25 0,50 0,75 1,00	-2,36%	0,50
	Qualidade	$\Delta 2$ - Variação da DBO5 na bacia no período (média), mg/L	$\Delta 2 > 20\%$ $20\% > \Delta 2 > 10\%$ $0 < \Delta 2 < 10\%$ $-10\% < \Delta 2 < 0$ $\Delta 2 < -10\%$	0 0,25 0,50 0,75 1,00	79,89%	0,00
Meio Ambiente		EPI da bacia (Rural e Urbano) no período	EPI > 20% $20\% > \text{EPI} > 10\%$ $10\% > \text{EPI} > 5\%$ $5\% > \text{EPI} > 0\%$ EPI < 0%	0 0,25 0,50 0,75 1,00	1,21%	0,75
Vida		Δ - Variação do PIB <i>per capita</i> na bacia no período	$\Delta < -20\%$ $-20\% < \Delta < -10\%$ $-10\% < \Delta < 0\%$ $0 < \Delta < 10\%$ $\Delta > 10\%$	0 0,25 0,50 0,75 1,00	38,49%	1,00
Política		Δ - Variação do IDH-Educação na bacia no período	$\Delta < -20\%$ $-20\% < \Delta < -10\%$ $-10\% < \Delta < 0\%$ $0 < \Delta < 10\%$ $\Delta > 10\%$	0 0,25 0,50 0,75 1,00	6,92%	0,75

Fonte: Adaptado de Chaves & Alipaz, 2007.

3.5.2 Estado: Indicadores e Pontuação de Parâmetros

O Quadro 3.37 apresenta os indicadores e parâmetros utilizados para cômputo do estado atual (2014) dos componentes socioambientais na sub-bacia do Ribeirão Onça:

Quadro 3.37 - WSI – Indicadores do Grupo Estado

Indicador		Unidade	Valor (2010)	Valor (2014)
Disponibilidade hídrica <i>per capita</i> da bacia		m³/hab./ano	-	130,98
Descrição	Disponibilidade hídrica por habitante na sub-bacia durante o ano.			
Forma de obtenção	Dados secundários.			
Considerações	Calculado considerando a população estimada para o ano 2014, 1.389.286 habitantes; 2010, Censo 2010 (IBGE), 1.356.437 habitantes.			
Valor(es) base	Vazão média de longo prazo: 5,77 m³/s			
Fonte	PDRH-Velhas, 2015.			
DBO5 na bacia no período (média)		mg/L	-	52,03
Descrição	Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO): média anual.			
Forma de obtenção	Processamento de dados secundários (georreferenciados)			
Considerações	A DBO média foi obtida por meio da extração de dados de 38 pontos de monitoramento do IGAM dispostos na sub-bacia do Onça.			
Valor(es) base	Ano 2010: DBO média: 28,94; DQO média: 111,59; OD médio: 3,52. Ano 2014: DBO média: 52,03; DQO média: 109,52; OD médio: 3,71.			
Fonte	PDRH-Velhas, 2015.			
PV- Percentual da área da bacia com cobertura vegetal natural		%	-	32,78
Descrição	Percentual da área da sub-bacia com cobertura vegetal.			

Indicador		Unidade	Valor (2010)	Valor (2014)
Forma de obtenção	Processamento de imagens de satélite.			
Considerações	O parâmetro Percentual da área da bacia com cobertura vegetal natural foi determinado por meio da técnica de geoprocessamento NDVI (normalized index vegetation index), com capacidade para indicar quantidade e condição da vegetação (ROUSE et al., 1973). Utilizou-se imagem orbital disponibilizada pela série LandSat 8, gerada em 24/05/2014. Presença de vegetação natural foi detectada em 32,78% do território da sub-bacia.			
Valor(es) base	Presença de vegetação natural foi detectada em 32,78% do território da sub-bacia.			
Fonte	Satélite TM/Landsat 8.			
IDH da bacia		-	-	0,798
Descrição	Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) da sub-bacia.			
Forma de obtenção	Dados secundários.			
Considerações	Informações disponíveis apenas para a Região Metropolitana de Belo Horizonte.			
Valor(es) base	Região Metropolitana de Belo Horizonte: 0,798 (2014)			
Fonte	ADH - Atlas de Desenvolvimento Humano, 2019.			
Capacidade institucional e de gestão de recursos hídricos na bacia		-	-	Excelente
Descrição	Verificação do parâmetro Capacidade institucional e de gestão de recursos hídricos na bacia considerou a existência de entidades públicas e/ou privadas de gestão de recursos hídricos, cobrança pelo uso da água e existência de projetos socioambientais na sub-bacia do Ribeirão Onça			
Forma de obtenção	Dados secundários.			
Considerações	A sub-bacia está inserida no Comitê de Bacias Hidrográficas do Rio das Velhas e é gerida pelo Subcomitê de Bacia Hidrográfica do Ribeirão Onça, há cobrança pelo uso da água, dezenas de projetos previstos/em andamento e previsão de investimentos na ordem de R\$ 16 milhões ao longo da vigência do Plano Diretor de Recursos Hídricos.			
Valor(es) base	Região Metropolitana de Belo Horizonte: 0,694 (2010), 0,745 (2014)			
Fonte	PDRH-Velhas, 2015.			

Fonte: Autor, 2020.

As referências de pontuação dos parâmetros e os resultados do processamento dos dados dos indicadores do grupo Estado estão dispostos no Quadro 3.38:

Quadro 3.38 - WSI – Pontuação – Indicadores do Grupo Estado

Indicadores		Estado				
		Parâmetro	Variação	Pontuação	Valor do Parâmetro	Resultado
Hidrologia	Quantidade	D- Disponibilidade hídrica <i>per capita</i> na bacia (média de longo período) em m ³ /hab./ano	D < 1700 1700 < D < 3400 3400 < D < 5100 5100 < D < 6800 D > 6800	0 0,25 0,50 0,75 1,00	130,98	0,00
	Qualidade	DBO5 na bacia (média de longo período) em mg/L	DBO > 10 10 > DBO > 5 5 > DBO > 3 3 > DBO > 1 DBO < 1	0 0,25 0,50 0,75 1,00	52,06	0,00
Meio Ambiente		PV- Percentual da área da bacia com cobertura vegetal natural	PV < 5 5 < PV < 10 10 < PV < 25 25 < PV < 40 PV > 40	0 0,25 0,50 0,75 1,00	32,78%	0,75
Vida		IDH da bacia	IDH < 0,5 0,50 < IDH < 0,6 0,60 < IDH < 0,7 0,75 < IDH < 0,9 IDH > 0,9	0 0,25 0,50 0,75 1,00	0,798	0,75
Política		Capacidade institucional e de gestão de recursos hídricos na bacia	Muito pobre Pobre Regular Boa Excelente	0 0,25 0,50 0,75 1,00	Excelente	1,00

Fonte: Adaptado de Chaves & Alipaz, 2007.

3.5.3 Resposta: Indicadores e Pontuação de Parâmetros

O Quadro 3.39 apresenta os indicadores e parâmetros utilizados para avaliação das respostas e ações realizadas na sub-bacia do Ribeirão Onça frente à pressão antrópica e estágio de degradação identificados:

Quadro 3.39 - WSI – Indicadores do Grupo Resposta

Indicador		Unidade	Valor (2010)	Valor (2014)
Melhorias na eficiência do uso da água no período		-	-	-
Descrição	Melhorias na eficiência do uso da água no período,			
Forma de obtenção	Dados secundários.			
Considerações	Para avaliação do parâmetro relacionado à quantidade, Melhorias na eficiência do uso da água no período, foram delineados quatro itens, que de acordo com a presença/ausência na área de estudo, foram pontuados em 0 (repercussão negativa) ou 0,25 (repercussão positiva): população atendida (variação positiva, nota 0,25; negativa, 0); consumo de água <i>per capita</i> (variação positiva, nota 0; negativa, 0,25); índice de perdas na rede de distribuição (variação positiva, nota 0,25; negativa, 0); economias atingidas por paralisações (variação positiva, nota 0,25; negativa, 0).			
Valor(es) base	De acordo com dados do SNIS (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, 2010-2014) a sub-bacia tem cobertura de 100% da população no quesito distribuição de água, o consumo <i>per capita</i> aumentou 1,28 L/hab./dia, o índice de perdas na rede de distribuição registrou avanço de 3,07% e o número de economias afetadas por paralisações no sistema de distribuição saltou de 768 para 2865. Os cálculos dos parâmetros numéricos relacionados aos subgrupos quantidade e qualidade consideraram como pesos o tamanho da população de cada município na sub-bacia: Belo Horizonte, peso 0,8485; Contagem, peso 0,1515			
Fonte	SNIS, 2019.			
Melhorias no tratamento/disposição de esgoto no período		-	-	-
Descrição	Melhorias no tratamento/disposição de esgoto no período.			
Forma de obtenção	Dados secundários.			
Considerações	Considerou quatro itens, conforme repercussão, pontuados em 0 (repercussão negativa) ou 0,25 (repercussão positiva): população atendida (variação positiva, nota 0,25; negativa, 0); índice de coleta de esgoto (variação positiva, nota 0; negativa, 0,25); índice de tratamento de esgoto (variação positiva, nota 0; negativa, 0,25); atendimento à portaria de qualidade da água (“atende”, nota 0,25; “não atende/atende parcialmente”).			
Valor(es) base	No período avaliado, de acordo com dados do SNIS (2010-2014) a sub-bacia tem cobertura de 99% da população no quesito esgotamento sanitário, o índice de coleta de esgoto aumentou 0,16%, o índice de tratamento de esgoto cresceu 17,19% e o tempo de extravasamento de esgoto (horas/ano) avançou 12,3%. O atendimento à portaria da qualidade da água “Atende Parcialmente” os critérios estabelecidos na Portaria MS nº 2.914/2011. Os cálculos dos parâmetros numéricos relacionados aos subgrupos quantidade e qualidade consideraram como pesos o tamanho da população de cada município na sub-bacia: Belo Horizonte, peso 0,8485; Contagem, peso 0,1515.			
Fonte	SNIS, 2019.			
Evolução das áreas de conservação na bacia no período		km²	6,47	6,90
Descrição	Incremento de áreas de conservação na bacia no período.			
Forma de obtenção	Dados secundários.			
Considerações	Foram identificadas 54 unidades de conservação na sub-bacia do Ribeirão Onça, ocupando uma área aproximada 7 km², 3,17% da área da sub-bacia. Até o ano de 2010 as áreas de conservação somavam 6,47 km², no período 2011-2014 houve um incremento de 0,42 km², 6,55%, totalizando 6,90 km².			
Valor(es) base				
Fonte	PDRH-Velhas, 2015; UFMG – 2015.			
Evolução do IDH da bacia no período		-	0,774	0,798
Descrição	Variação percentual do IDH no período de interesse.			
Forma de obtenção	$((IDH_{2014} / IDH_{2010}) - 1) \times 100$			
Considerações	Informações disponíveis apenas para a Região Metropolitana de Belo Horizonte.			
Valor(es) base	Região Metropolitana de Belo Horizonte: 0,774 (2010), 0,798 (2014)			
Fonte	ADH - Atlas de Desenvolvimento Humano, 2019.			
Evolução dos gastos com gestão de recursos hídricos na bacia no período		-	-	-
Descrição	Variação percentual dos gastos com gestão de recursos hídricos na bacia no período			

Indicador		Unidade	Valor (2010)	Valor (2014)
Forma de obtenção	Dados secundários.			
Considerações	Considerou a existência de programas e projetos socioambientais na sub-bacia, projeções de investimentos e fontes de recursos disponíveis nos períodos próximos ao intervalo de referência deste trabalho (2010-2014). A evidência inicial é a elaboração do Plano Diretor de Recursos Hídricos do Rio das Velhas, executado entre 2012 e 2014, com custos registrados de R\$ 3.271.831,90. Para o período subsequente, período de vigência do PDRH Velhas (2015-2030), há previsão de investimentos no valor de R\$ 15.379.453,57 em programas e projetos socioambientais da sub-bacia do Ribeirão Onça			
Valor(es) base				
Fonte	PDRH-Velhas, 2015.			

Fonte: Autor, 2020.

O Quadro 3.40 apresenta as referências de pontuação dos parâmetros e os resultados do processamento dos dados dos indicadores do grupo Resposta:

Quadro 3.40 - WSI – Pontuação – Indicadores do Grupo Resposta

Indicadores		Resposta				
		Parâmetro	Variação	Pontuação	Valor do Parâmetro	Resultado
Hidrologia	Quantidade	Melhoras na eficiência do uso da água no período	Muito pobre Pobre Regular Boa Excelente	0 0,25 0,50 0,75 1,00	População Atendida ($\Delta+$, 100%) Consumo <i>per capita</i> ($\Delta+$) Índice de Perdas na rede ($\Delta+$) Economias atingidas por paralisações ($\Delta+$)	0,25
	Qualidade	Melhorias no tratamento/disposição de esgoto no período	Muito pobre Pobre Regular Boa Excelente	0 0,25 0,50 0,75 1,00	População Atendida ($\Delta+$, 100%) Índice de Coleta (<100%) Índice de Tratamento (<100%) Atendimento Portaria de Qualidade ($\Delta-$)	0,25
Meio Ambiente		Δ - Evolução das áreas de conservação na bacia no período	$\Delta < -10\%$ $-10\% < \Delta < 0\%$ $0\% < \Delta < 10\%$ $10 < \Delta < 20\%$ $\Delta > 20\%$	0 0,25 0,50 0,75 1,00	6,55 %	0,50
Vida		Δ - Evolução do IDH da bacia no período	$\Delta < -10\%$ $-10\% < \Delta < 0\%$ $0\% < \Delta < 10\%$ $10 < \Delta < 20\%$ $\Delta > 20\%$	0 0,25 0,50 0,75 1,00	3,10%	0,50
Política		Δ - Evolução dos gastos com gestão de recursos hídricos na bacia no período	$\Delta < -10\%$ $-10\% < \Delta < 0\%$ $0\% < \Delta < 10\%$ $10 < \Delta < 20\%$ $\Delta > 20\%$	0 0,25 0,50 0,75 1,00	>20% Excelente	1,00

Fonte: Adaptado de Chaves & Alipaz, 2007.

4. APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS DE AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE NA SUB-BACIA DO RIBEIRÃO ONÇA

4.1 Uso da Pegada Ecológica na Avaliação da Sub-bacia do Ribeirão Onça

Os resultados da aplicação do método Pegada Ecológica e suas respectivas categorias, Pegada Ecológica e Biocapacidade, são apresentados a seguir.

4.1.1 Categoria Pegada Ecológica

O Quadro 4.1 traz as classes computadas e os níveis de pressão que as mesmas exercem sobre os recursos naturais disponíveis. Conforme pode-se observar, as classes Floresta e Pesca são as que geram menor impacto ambiental, correspondendo a 0,34% e 0,70%, respectivamente. As classes CO₂ – Emissões e Pecuária (consumo de carne bovina) imprimem a maior carga sobre os recursos naturais locais, representando 77,54% e 19,39% dos fatores de degradação, respectivamente.

Quadro 4.1 - Pegada Ecológica – Resultados da avaliação da sustentabilidade

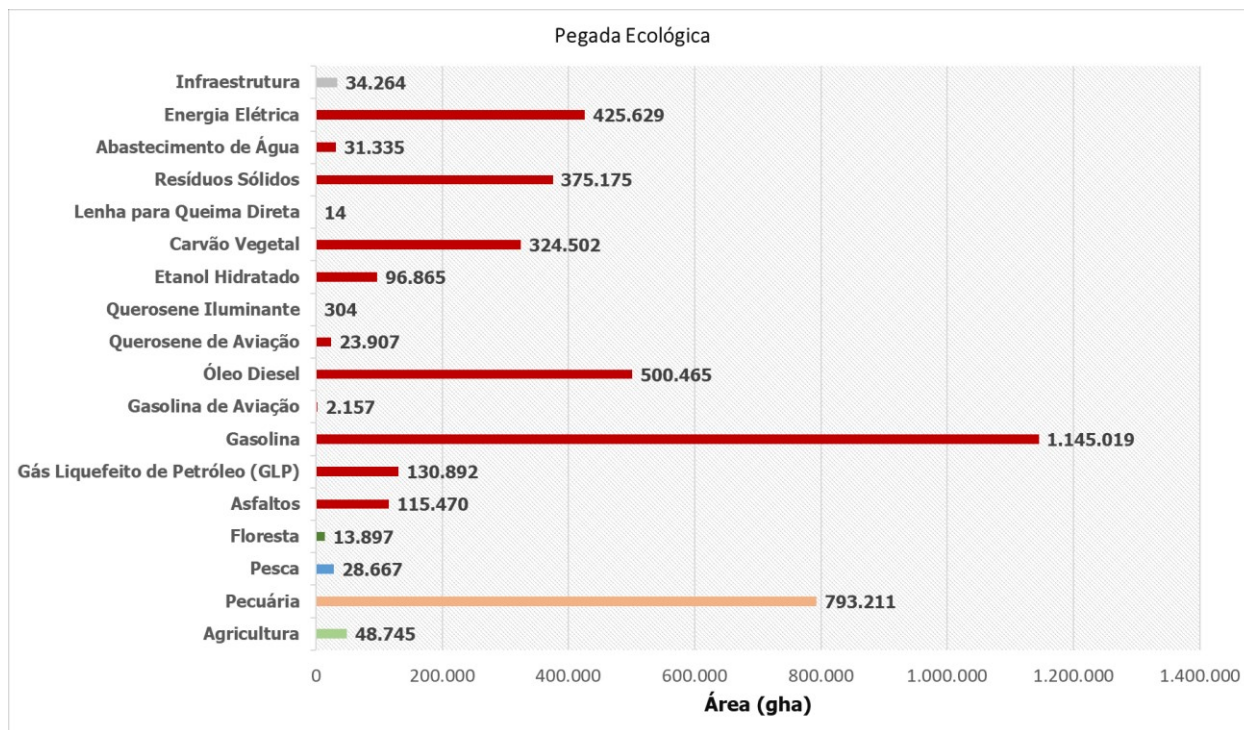
Classe	Área (gha)	Área <i>per capita</i> (gha)	Área (%)
- Agricultura	48.745	0,035086184	1,19%
- Pecuária	793.211	0,5709	19,39%
- Pesca	28.667	0,020634267	0,70%
- Floresta	13.897	0,0100	0,34%
Madeira	6603,106318	0,004752878	0,16%
Papel	7293,514173	0,005249829	0,18%
- CO ₂ - Emissões	3.171.734,16	2,282995841	77,54%
Asfaltos	115.470	0,083114368	2,82%
Gás Liquefeito de Petróleo (GLP)	130.892	0,094215511	3,20%
Gasolina	1.145.019	0,824178282	27,99%
Gasolina de Aviação	2.157	0,001552786	0,05%
Óleo Diesel	500.465	0,360232134	12,23%
Querosene de Aviação	23.907	0,017208167	0,58%
Querosene Iluminante	304	0,000218486	0,01%
Etanol Hidratado	96.865	0,069722589	2,37%
Carvão Vegetal	324.502	0,233574517	7,93%
Lenha para Queima Direta	14	9,9013E-06	0,00%
Resíduos Sólidos	375.175	0,2700489	9,17%
Abastecimento de Água	31.335	0,022554701	0,77%
Energia Elétrica	425.629	0,3063655	10,41%
- Infraestrutura	34.264	0,0247	0,84%
Total	4.090.518	2,949580708	100,00%

Fonte: Autor, 2020.

O uso de combustíveis, especialmente fósseis, foram os principais responsáveis pela emissão de CO₂, sendo gasolina e óleo diesel os mais relevantes (Figura 4.1). O valor total da Pegada

Ecológica foi de 2,94 gha *per capita*, que corresponde dizer que, sob as condições de consumo locais, são necessários cerca de 2,94 ha para atender às necessidades de cada habitante.

Figura 4.1 - Pegada Ecológica: Resultados



Fonte: Autor, 2020.

4.1.2 Categoria Biocapacidade

As ofertas de recursos disponíveis para a região são apresentadas no Quadro 4.2. As classes Floresta e Infraestrutura fornecem o maior volume de serviços e produtos ambientais, correspondendo a 66,30% e 33,07%, respectivamente. As áreas de vegetação atuam como grandes sumidouros, capturando o CO₂ emitido pelas atividades humanas, já os itens de infraestrutura da região fornecem os elementos básicos para a manutenção de moradia e serviços urbanos.

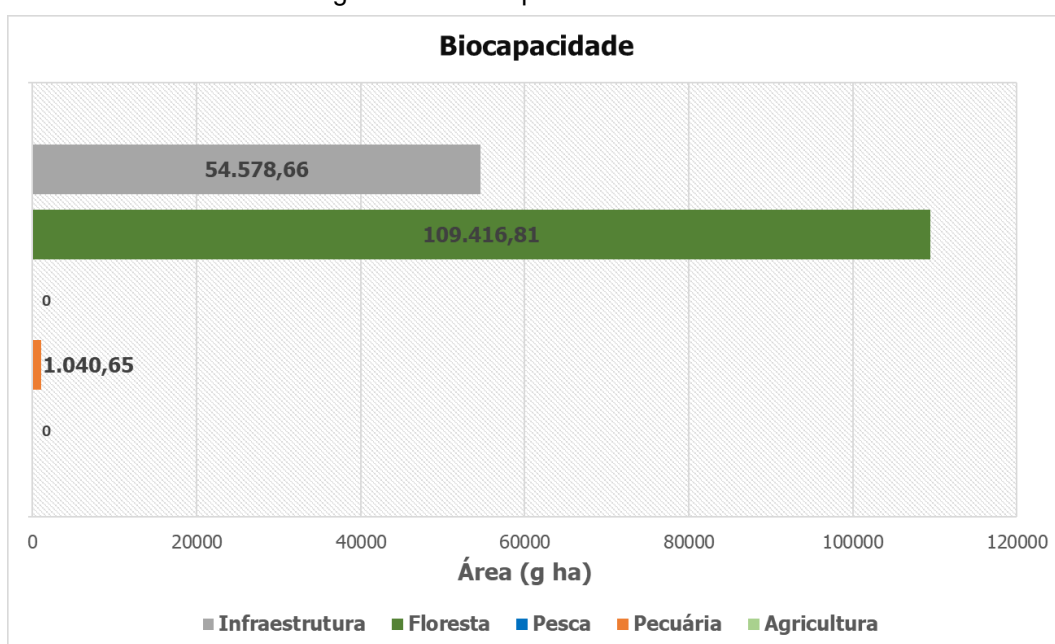
Quadro 4.2 - Biocapacidade – Resultados da avaliação da sustentabilidade

Classe	Área (g ha)	Área <i>per capita</i> (g ha)	Área (g ha)
Agricultura	0	0	0,00%
Pecuária	1.040,65	0,0007	0,63%
Pesca	0	0	0,00%
Floresta	109.416,81	0,0788	66,30%
Infraestrutura	54.578,66	0,0393	33,07%
Total	165.036,1204	0,11879204	100,00%

Fonte: Autor, 2019.

A Figura 4.2 elucida graficamente os elementos utilizados para cálculo da biocapacidade. O valor total da Biocapacidade foi de 0,12 gha *per capita*, que corresponde dizer que a natureza dispõe de apenas 0,12 ha para atender às necessidades de cada habitante, que ao ser extrapolado compromete a sustentabilidade dos recursos na região.

Figura 4.2 - Biocapacidade: Resultado



Fonte: Autor, 2020.

4.1.3 Saldo Ecológico

O saldo ecológico é determinado pela diferença entre a oferta, Biocapacidade (165.036,12 gha; 0,12 gha/habitante), e a demanda/consumo, Pegada Ecológica (4.090.518; 2,95 gha/habitante). Deste modo, o saldo (déficit ecológico) da sub-bacia do Ribeirão Onça foi de -3.926.213,30 gha, - 2,83 gha *per capita*. Esse valor caracteriza insustentabilidade, uma vez que será necessário mais 2,83 ha por habitante para suprir as necessidades da população local. Em análise complementar, pode-se dizer que para atender as necessidades de consumo locais seria necessário dispor de uma área aproximadamente 25 vezes superior à área da sub-bacia, sendo os recursos disponíveis capazes de fornecer apenas 4,1% da demanda, ano de referência 2014.

Comparados a outros estudos que utilizaram a Pegada Ecológica aplicados em cidades brasileiras e diversas partes do mundo, os resultados que demonstraram a insustentabilidade da sub-bacia do Ribeirão Onça, bem como os níveis de pressão sobre os recursos naturais, se mostraram semelhantes às regiões urbanizadas com índices de desenvolvimento

socioeconômicos compatíveis. O Quadro 4.3 lista uma série de aplicações da Pegada Ecológica, o valor *per capita* da pressão exercida sobre a natureza e quantos planetas Terra seriam necessários para sustentar certa população com o nível de consumo mensurado. A localidade com menor valor de Pegada Ecológica foi a cidade de Caicó-RN, com apenas 0,015 gha/habitante, Calgary, no Canadá, registrou o maior valor, registrando 9,86 gha/habitante, caso a população mundial apresentasse padrões de consumo semelhantes seriam necessários 5,87 planetas Terra. Já os níveis de consumo apresentados na sub-bacia do Onça, quando amplificados para a comunidade mundial, requisitaria 1,75 planeta Terra.

Quadro 4.3 - Pegada Ecológica – Comparações de Aplicações

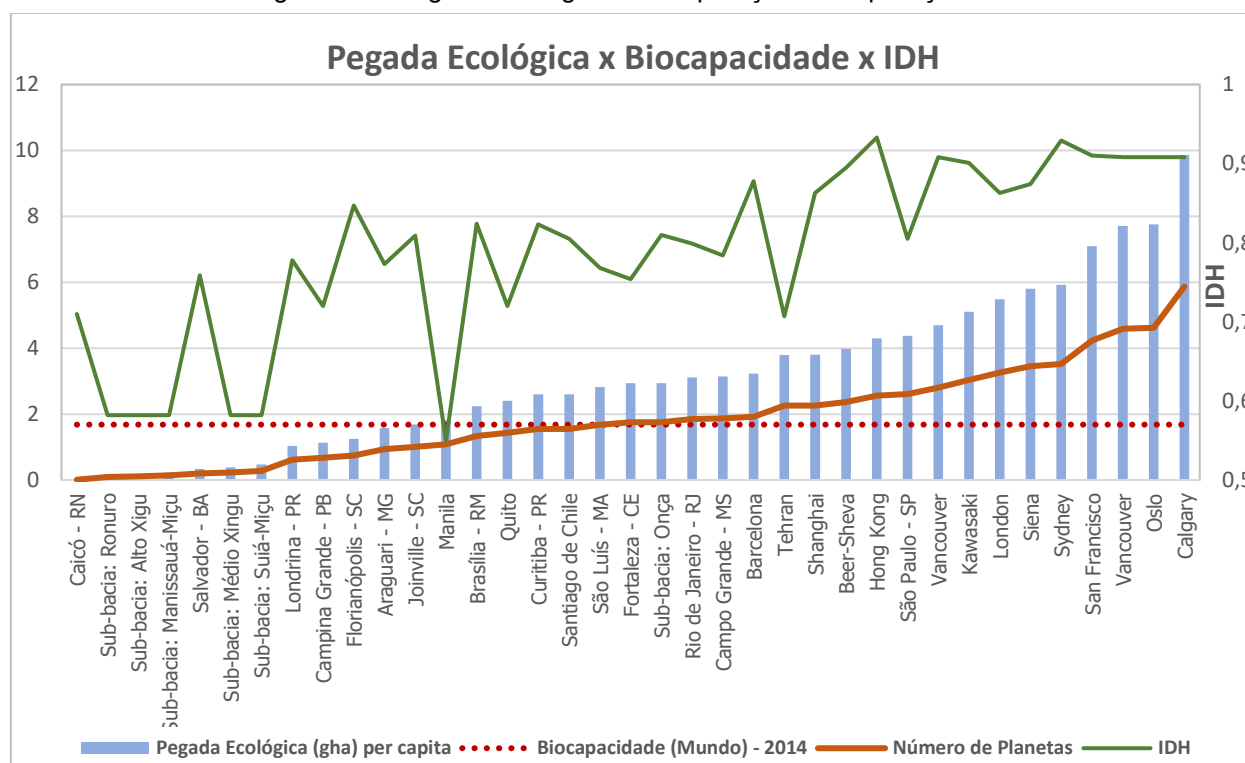
País	Cidade	Pegada Ecológica (gha) <i>per capita</i>	Biocapacidade (Mundo) 2014	Número de Planetas
Austrália	Sydney	5,92	1,68	3,52
Brasil	Curitiba - PR	2,6	1,68	1,55
	Salvador - BA	0,33	1,68	0,20
	Fortaleza - CE	2,94	1,68	1,75
	Brasília - RM	2,24	1,68	1,33
	Florianópolis - SC	1,25	1,68	0,74
	Joinville - SC	1,68	1,68	1,00
	São Luís - MA	2,82	1,68	1,68
	Campina Grande - PB	1,13	1,68	0,67
	São Paulo - SP	4,38	1,68	2,61
	Rio de Janeiro - RJ	3,11	1,68	1,85
	Campo Grande - MT	3,14	1,68	1,87
	Caicó - RN	0,015	1,68	0,01
	Araguari - MG	1,58	1,68	0,94
	Sub-bacia: Suiá-Miçu	0,47	1,68	0,28
	Sub-bacia: Médio Xingu	0,38	1,68	0,23
	Sub-bacia: Manissauá-Miçu	0,23	1,68	0,14
	Sub-bacia: Alto Xigu	0,18	1,68	0,11
	Sub-bacia: Ronuro	0,16	1,68	0,10
	Londrina - PR	1,03	1,68	0,61
	Sub-bacia: Onça	2,94	1,68	1,75
Canadá	Calgary	9,86	1,68	5,87
	Vancouver	7,71	1,68	4,59
Chile	Santiago de Chile	2,6	1,68	1,55
China	Hong Kong	4,3	1,68	2,56
	Shanghai	3,8	1,68	2,26
Equador	Quito	2,4	1,68	1,43
Irã	Teerã	1,22	1,68	0,73
Israel	Beer-Sheva	3,98	1,68	2,37
Itália	Siena	5,8	1,68	3,45
Japão	Kawasaki	5,1	1,68	3,04
Noruega	Oslo	7,76	1,68	4,62
Filipinas	Manila	1,82	1,68	1,08
Espanha	Barcelona	3,23	1,68	1,92
Inglaterra	Londres	5,48	1,68	3,26
Estados Unidos	San Francisco	7,1	1,68	4,23

Fonte: Adaptado de Baabou, 2017.

Aplicações mais recentes da Pegada Ecológica têm buscado incluir nos mecanismos de avaliação elementos de mensuração da dimensão humana, uma vez que a ferramenta utiliza

apenas a ambiental. Inicialmente, tem sido adotado o IDH (Índice de Desenvolvimento Humano), em uma tentativa de melhorar a abrangência da ferramenta e o nível de mensuração da sustentabilidade. De modo geral, localidades com maior nível de desenvolvimento humano (IDH alto) têm apresentado maiores valores de Pegada Ecológica, e consequentemente, maior degradação e pressão sobre os recursos naturais (GIBBERD, 2015). A Figura 4.3 ilustra as relações entre Pegada Ecológica, IDH, Biocapacidade Mundial e Número de Planetas necessários para atender a demanda de cada região avaliada. Fica evidenciada uma tendência de localidades com maior nível de desenvolvimento ultrapassarem a biocapacidade disponível no planeta (1,68 gha *per capita*), e, consequentemente, níveis de insustentabilidade elevados.

Figura 4.3 - Pegada Ecológica – Comparações de Aplicações



Fonte: Autor, 2020.

Regiões altamente urbanizadas, normalmente, não dispõem de áreas para produção de recursos primários, especialmente vinculados às fontes de água e alimentos (agricultura e pecuária), ao passo que a maioria dos recursos consumidos são providos de outras localidades, muitas vezes, distantes dos centros de distribuição. Nestas regiões a demanda de recursos energéticos, com destaque para combustíveis fósseis, são itens essenciais para prover serviços e infraestrutura urbana, sendo fatores críticos para o desenvolvimento e difusão da poluição. Estes aspectos

também são evidenciados na sub-bacia do Ribeirão Onça, na qual a oferta de recursos naturais se mostra ínfima frente às demandas e consumo locais, e, conseqüentemente, são “importadas” de outras regiões.

A aplicação da Pegada Ecológica na sub-bacia do Ribeirão Onça demonstrou o potencial de uso da ferramenta em identificar os itens de consumo que provocam maior pressão sobre os recursos naturais locais, fornecendo elementos que potencializam o processo de conscientização e educação ambiental da comunidade, remetendo a uma mudança por práticas mais sustentáveis, uma vez constatado que os padrões de consumo à época (2014) imprimem uma “pegada” muito superior à capacidade de suporte socioambiental.

As principais restrições identificadas na aplicação do método foram a dificuldade na obtenção dos dados e processá-los conforme os fatores de produtividade pré-determinados. O fato de a Pegada Ecológica ter como base de cálculo fluxo de matéria/energia convertido em área (ha) e a pequena quantidade de classes consideradas são fatores que elevam o nível de imprecisão do diagnóstico, resultados da pressão humana sobre os recursos naturais tendem a ser subestimados.

4.2 Uso do Painel da Sustentabilidade na Avaliação da Sub-bacia do Ribeirão Onça

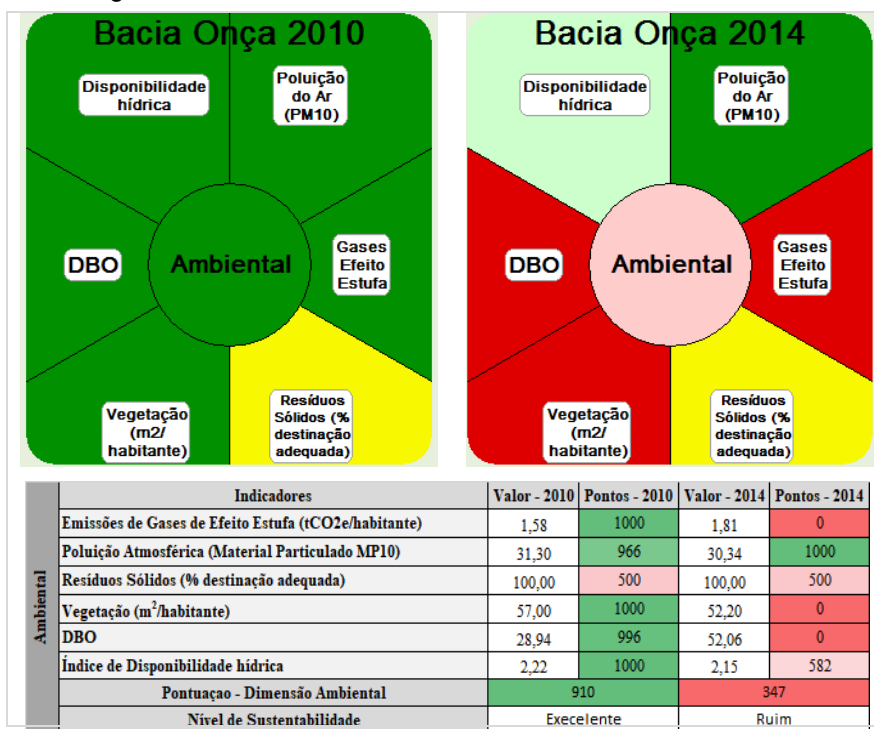
O índice de sustentabilidade da sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Onça obtido pelo método Painel da Sustentabilidade foi processado por meio do *software MDG Dashboard*, sendo os resultados das dimensões avaliadas e análises apresentados a seguir. O detalhamento metodológico dos indicadores e referências utilizadas foram apresentados no item 3.3 deste documento (Painel da Sustentabilidade – Seleção de Indicadores para a Sub-bacia do Onça).

4.2.1 Dimensão Ambiental

Os valores do índice de sustentabilidade obtidos para a dimensão ambiental para os anos 2010 e 2014 foram 910 (excelente) e 347 (ruim), respectivamente, sinalizando que houve representativa redução da qualidade ambiental. Dentre os seis indicadores avaliados, metade apresentou perspectivas negativas (Vegetação, DBO e Disponibilidade Hídrica), nenhum apresentou melhorias de grande repercussão. Os aspectos relacionados à poluição dos recursos

hídricos foram os principais fatores responsáveis pela degradação ambiental, indicando grave nível de poluição, especialmente por lançamento de esgotos (PDRH-Velhas, 2015). A Figura 4.4 apresenta a variação dos indicadores ambientais no período.

Figura 4.4 - Dimensão Ambiental: Painel da Sustentabilidade



Fonte: Autor, 2020.

A DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) aumentou de forma significativa, saltando de 28,94 em 2010 para 52,06 mg/L em 2014, fator que corrobora com o enquadramento Classe 3 dos recursos hídricos da sub-bacia, tendo como causa majoritária o lançamento de esgoto. Em contraste, o nível de coleta de esgoto mostrou-se estável no período 2010-2014, cerca de 75%, já o índice de tratamento de esgoto apresentou avanço na sub-bacia, passando de 73% em 2010 para 90,2% em 2014, fator potencializado pela capacidade de tratamento da ETE Onça. Este aspecto compactua com os dados e análises dispostos no PDRH-Velhas (2015), que identifica como maior fonte de poluição dos recursos hídricos locais o lançamento de esgotos, sendo que algumas fontes podem ter origens difusas, dificultando a coleta e adoção de medidas mitigadoras.

Ainda sob a perspectiva do principal fator de degradação ambiental identificado pela ferramenta, baixa qualidade da água (elevado nível de DBO), o aumento expressivo da carga orgânica na região pode ter maior nível de correlação com a escassez hídrica observada no

período (redução de vazão de diluição) do que com o aumento fontes de lançamento de esgoto no período de referência (2010-2014). A seca identificada no período também pode ter influenciado negativamente a disponibilidade hídrica local, conforme trecho subsequente.

O índice de disponibilidade hídrica, obtido pela razão de água disponível na sub-bacia pelo consumo de água, apresentou redução de 2,22 em 2010 para 2,15 em 2014. Considerando o fato de que não há captação para abastecimento público de água na região e os estudos do PDRH-Velhas (2015), que classificam a situação hídrica como confortável (quesito quantidade), tem-se um cenário em que, sob o aspecto quantitativo, a situação de criticidade é atenuada. Contudo, de acordo com Falkenmark e Widstrand (1992), ocorre estresse hídrico quando a disponibilidade de água está abaixo de $1.700 \text{ m}^3/\text{hab./ano}$, valor muito superior ao identificado na sub-bacia, $134 \text{ m}^3/\text{hab./ano}$. Esta condição deve ser abordada como forma de alerta na região frente à tendência de redução de disponibilidade hídrica, bem como do comprometimento do equilíbrio e qualidade dos ecossistemas locais.

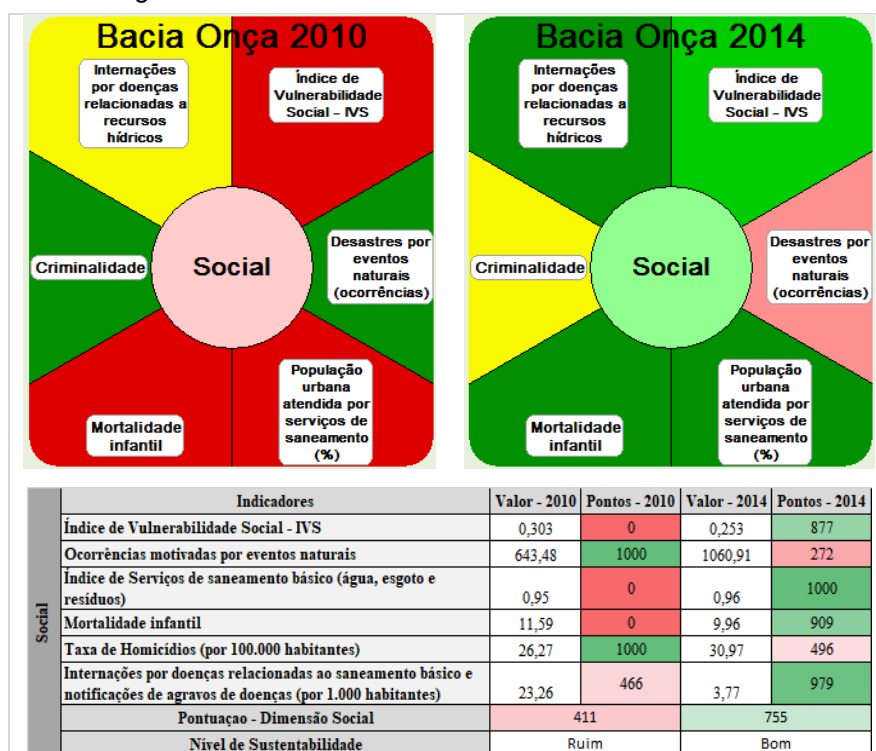
O aumento da pressão urbana e redução de áreas de vegetação natural e biodiversidade são apresentados pela taxa de áreas vegetadas, que retraiu de $57 \text{ m}^2/\text{habitante}$ para $52,2 \text{ m}^2/\text{habitante}$ no período. Estes resultados podem ser, em parte, respaldados pelo aumento do número de queimadas registradas no período (potencializadas pela crise hídrica registrada em 2014) e o grande número de obras de infraestrutura em preparação para a Copa do Mundo.

O nível de emissões de gases de efeito estufa aumentou de $1,58 \text{ tCO}_2\text{e/habitante}$ em 2010 para $1,81 \text{ tCO}_2\text{e/habitante}$ em 2014, sintetizando tendência de avanço dos níveis de degradação ambiental na sub-bacia e contribuições para a prospecção de mudanças climáticas: decréscimo do uso de energia renovável, passando de 43,8% para 39,8%, aumento do consumo de combustíveis fósseis no período; aumento do número de veículos automotores e grandes obras de infraestrutura identificadas no período. Em contrapartida, a quantidade de material particulado (PM₁₀) mensurada no período apresentou grandes oscilações no período 2010-2014, tendo registrado o valor de $58,73 \mu\text{g}/\text{m}^3$ no período de 24 horas em 2013, e reduzido para $30,34 \mu\text{g}/\text{m}^3$ em 2014, valores que não comprometem a qualidade do ar de forma significativa, de acordo com o Decreto Estadual nº 59.113/2013 da CETESB.

4.2.2 Dimensão Social

O valor do índice de sustentabilidade obtido para a dimensão social foi de 411 pontos (nível ruim de sustentabilidade) para o ano 2010 e 755 (bom) para o ano 2014, representando considerável melhoria na qualidade de vida da população. A variável que mais contribuiu para a evolução social foi a redução do número de internações relacionadas a doenças de veiculação hídrica e a melhoria nos serviços de saneamento básico. O aumento da taxa de homicídios e o registro de ocorrências relacionadas a eventos naturais foram os fatores mais expressivos negativamente. A Figura 4.5 apresenta a variação dos indicadores sociais no período.

Figura 4.5 - Dimensão Social: Painel da Sustentabilidade



Fonte: Autor, 2020.

Em relação à saúde, em 2010 o número de internações por doenças relacionadas ao saneamento básico e registro de notificações de agravos de doenças (dengue) foi de 23,26 internações para cada grupo de 1.000 habitantes, situação deflagrada, principalmente, pelo surto de dengue que assolou o município de Belo Horizonte no período. Em 2014 não houve grande difusão epidemiológica, resultando em melhoria do indicador avaliado. A taxa de mortalidade infantil para crianças menores que cinco anos reduziu de 11,59 para 9,96 para cada grupo de 1.000 nascidos vivos, sendo que este indicador sinaliza melhoria no sistema de saúde, uma vez que crianças tendem a ser mais frágeis às condições de precariedade no contexto de serviços de

infraestrutura de saúde disponíveis. De forma complementar e corroborando com a informação anterior, o número de leitos hospitalares para internação em 2014 era de 3,14 leitos para cada grupo de 1.000 habitantes, atendendo à requisição básica da Organização Mundial de Saúde (OMS), que é de 3 a 5 leitos (AHSEB, 2013).

A taxa de homicídios aumentou de 26,27 para 30,98 para cada grupo de 100.000 habitantes no período, a disseminação da violência foi um fator bastante expressivo na região, o número de crimes violentos saltou de 7,2 para cada grupo de 100.000 habitantes em 2010 para 15,2, representando grande necessidade de intervenção da administração pública por meio de programas de educação, capacitação e instrumentos de inserção social.

O aumento expressivo do número de ocorrências registradas atendidas pelo Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais que tiveram como causa eventos naturais afetou de forma muito negativa a comunidade. O número estimado de registros na região saltou de 643 em 2010 para 1.061 em 2014, sendo que um percentual superior a 90% das ocorrências está relacionado a queimadas/incêndios, em segundo lugar aparecem os registros motivados por inundações, denotando possíveis correlações com a escassez hídrica registrada no período e a ocupação desordenada do solo (população em áreas de risco).

Os fatores relacionados ao acesso a serviços e infraestruturas de saneamento (água, esgoto e resíduos sólidos) já se encontravam bem estabelecidos em 2010, contudo, o avanço no período ainda não permitiu contemplar 100% da população urbana da sub-bacia em 2014, sendo o fator mais crítico o atendimento de coleta de resíduos sólidos urbanos, que contempla aproximadamente 96% da população da região.

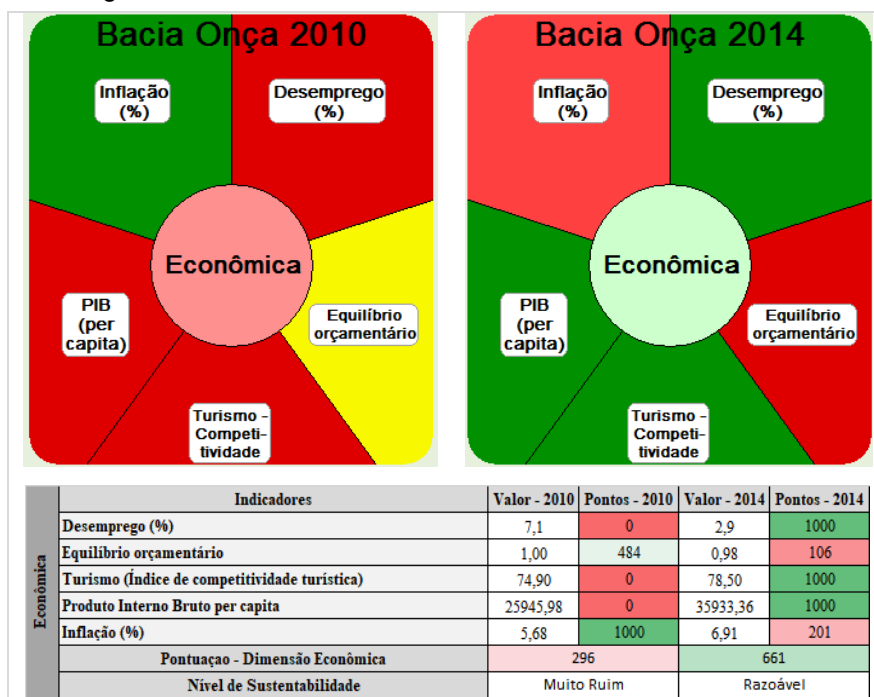
O IVS (Índice de Vulnerabilidade Social) apresentou evolução no período, reduzindo de 0,30 para 0,25, representando melhoria na qualidade de vida nos quesitos abrangidos pelo índice: capital humano, renda e trabalho, e infraestrutura urbana.

4.2.3 Dimensão Econômica

O valor do índice de sustentabilidade econômica apresentou melhoria significativa no período avaliado, avançando de 296 pontos (muito ruim) em 2010 para 661 pontos em 2014 (razoável nível de sustentabilidade). A baixa taxa de desemprego e o aumento da renda *per capita* foram

os fatores que mais contribuíram para a boa avaliação, acompanhados pelo bom desempenho do turismo no período. A Figura 4.6 apresenta a variação dos indicadores econômicos no período.

Figura 4.6 - Dimensão Econômica: PAINEL DA SUSTENTABILIDADE



Fonte: Autor, 2020.

O cenário econômico pode ter sido influenciado pela realização da Copa do Mundo 2014 em Belo Horizonte, que possivelmente contribuiu para a redução do desemprego de 7,1% em 2010 para 2,9% em 2014. A intensificação de atividades econômicas também se refletiu na ampliação do setor de serviços e obras na região que registrou aumento significativo na renda *per capita*, aumentado de R\$ 25.945,98 em 2010 para R\$ 35.933,36 em 2014.

A inflação registrada no período se apresentou menos favorável, sendo que o índice cresceu de 5,68% em 2010 para 6,61%, sinalizando relativa redução do poder de compra da população.

Quanto ao equilíbrio orçamentário, Belo Horizonte apresentou resultados financeiros levemente negativos nos anos 2010 e 2014, enquanto Contagem registrou resultados positivos no mesmo período. De modo geral, os dois municípios têm se mostrado compromissados com a situação financeira, portanto o resultado obtido mediante análise conjunta voltada ao equilíbrio orçamentário local reduziu de 1,00 (receitas iguais a despesas) para 0,98 (receitas pouco inferiores às despesas).

A situação financeira da administração pública é um fator que deve ser considerado no desenvolvimento e implantação de programas que promovam a sustentabilidade socioambiental na sub-bacia, uma vez que a disponibilidade de recursos financeiros eleva as potencialidades de investimentos e de firmar compromissos de longo prazo com a agenda da sustentabilidade.

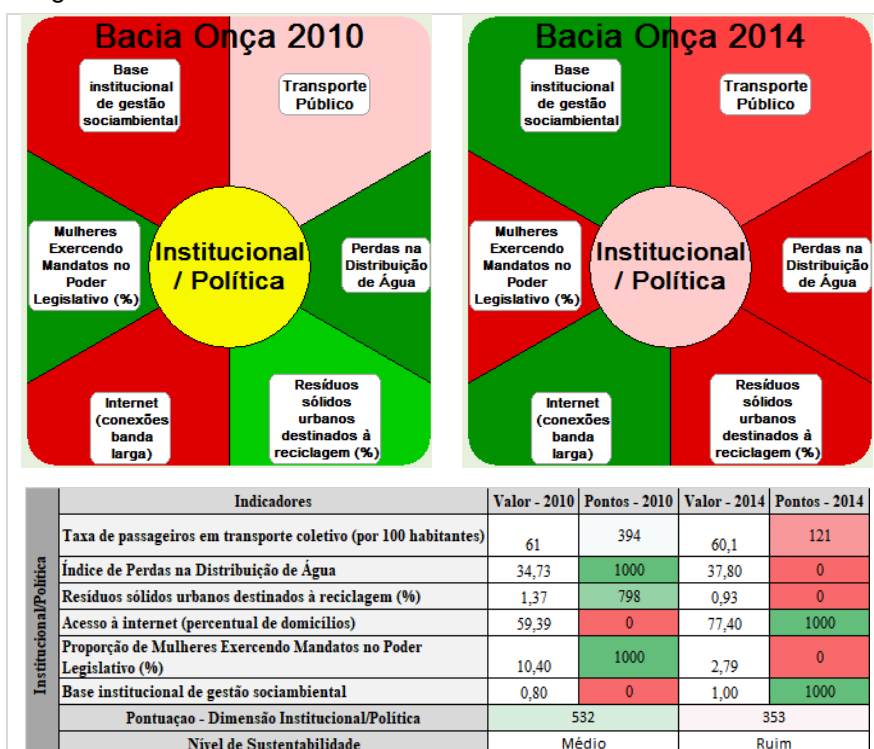
Potencializado pela realização da Copa do Mundo 2014, o setor de turismo apresentou crescimento representativo na região. De modo especial no município de Belo Horizonte, onde em 2010 o valor arrecado com ISS (Imposto Sobre Serviços, considerado neste estudo apenas atividades específicas do setor de turismo) foi de R\$ 27,1 mi e R\$ 37,2 mi em 2014. No mesmo período, o fluxo de turistas na cidade saltou de 3,9 milhões para 5,0 milhões de pessoas, tendo a receita turística movimentado valores de R\$ 2,7 bi e R\$ 4,0 bi nos anos 2010 e 2014, respectivamente. Estes fatores se refletiram diretamente na melhoria do índice de competitividade turística, que aumentou de 74,90 para 78,50 no período.

Além do potencial econômico do turismo, deve-se reservar atenção quanto aos impactos e pressões do setor sobre os recursos naturais e socioculturais da cidade, ao passo que a depender da infraestrutura disponível e gestão pública local, as atividades turísticas podem favorecer a preservação ou até mesmo a degradação do capital natural, cultural e histórico da região.

4.2.4 Dimensão Institucional/Política

O índice de sustentabilidade calculado para a dimensão institucional/política obteve pontuação 532 (médio) em 2010 e 353 (ruim) em 2014, revelando uma redução representativa no período avaliado. O reduzido número de participação feminina na política local, perdas no sistema de distribuição de água, taxa de reciclagem pouco representativa e condições do transporte público contribuíram para o retrocesso institucional. A base institucional de gestão socioambiental mostrou-se sólida no período avaliado. As variações dos indicadores institucionais são apresentadas na Figura 7.

Figura 4.7 - Dimensão Institucional/Política: PAINEL DA SUSTENTABILIDADE



Fonte: Autor, 2020.

A taxa de reciclagem calculada para a região regrediu de 1,37% para 0,93% no período. Houve redução da taxa de reciclagem nos dois municípios: Belo Horizonte, reduziu de 1,47% para 0,99%; Contagem, redução de 0,82% para 0,57%. Este fato indica que os planos de gestão e gerenciamento de resíduos não apresentaram bom nível de efetividade, infraestrutura, campanhas educacionais e atrativos econômicos/fiscais com capacidade para promover a ampliação da prática de reciclagem.

A base institucional de gestão socioambiental apresenta boa capacidade administrativa e instrumentos que permitem implementar planos de sustentabilidade na sub-bacia, tendo registrado evolução no período 2010-2014. O fomento de planos de gestão e gerenciamento de resíduos sólidos especiais registrou avanços expressivos no período, sendo um dos eixos estruturantes o Plano Metropolitano de Gestão Integrada de Resíduos com Foco em Resíduos de Serviços de Saúde (RSS) e Resíduos da Construção Civil e Volumosos (RCCV), que contempla os 50 municípios que compõem a Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) e o Colar Metropolitano (CM).

O transporte público apresentou pequena redução na taxa de passageiros que utilizam transporte coletivo, reduzindo de 61 para 60,1 para cada grupo de 100 habitantes, fator que tende a ter relações com a ampliação do número de veículos automotores e a melhoria de alguns indicadores econômicos na região. O percentual de residências com acesso à internet aumentou de forma expressiva, saltando de 59,39% em 2010 para 77,40% em 2014, sinalizando melhoria na acessibilidade e difusão da informação, bem como promoção da integração digital da comunidade.

Quanto às desigualdades socioeconômicas decorrentes de gênero, a participação de mulheres no cenário político tende a fornecer indícios básicos sobre discrepâncias de renda e níveis de participação feminina em processos de tomadas de decisão nos setores privados e na administração pública. O percentual de mulheres exercendo mandatos no poder legislativo dos municípios Belo Horizonte e Contagem reduziu de forma expressiva, passando de 10,4% em 2008 para 2,79% em 2012, indicador que pode sinalizar a necessidade de investigação de uma possível ampliação da desigualdade frente às condições socioeconômicas entre gêneros e respectiva perda de representatividade feminina nos processos afetos à gestão pública e cargos que conferem maiores responsabilidades e melhores salários. A participação da população nas eleições de 2010 e 2014 apresentou redução de 82,6% para 81,5%, fator que indica menor interesse e agrava a situação política caso os níveis de participação continuem a reduzir nas próximas eleições.

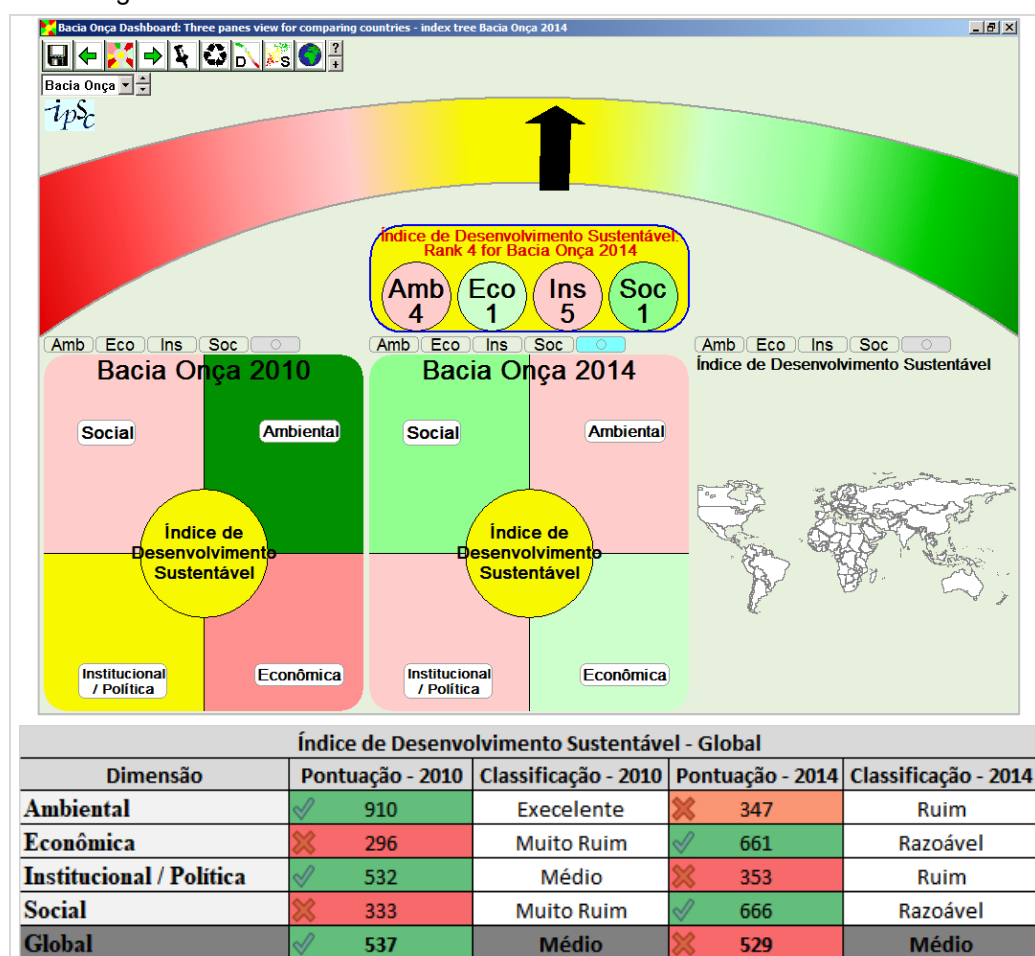
Problemas relacionados ao desperdício e escassez de água potável geralmente são acentuados nas grandes cidades, o índice de perdas na distribuição de água na região registrou em 2014 a marca de 37,8% frente a 34,7% no período anterior (2010), sinalizando preocupação diante do cenário de crise hídrica evidenciado na região metropolitana, fato concretizado em 2015. Este indicador contrasta com a redução da disponibilidade hídrica na sub-bacia identificada no período, que, aliado ao aumento do desperdício, pode resultar em grave condição de oferta de água e elevação de preços deste essencial recurso nos próximos anos.

4.2.5 Índice de Sustentabilidade Global

Considerando as quatro dimensões discutidas separadamente nos tópicos anteriores, o índice global de sustentabilidade do Painel da Sustentabilidade para a sub-bacia do Ribeirão Onça foi determinado no valor de 537 em 2010 (nível médio de sustentabilidade) e 529 (médio) para o

ano 2014, apresentando-se estável no período. As dimensões social e econômica registraram melhor evolução sustentável, potencializadas pela redução de doenças vinculadas a recursos hídricos e casos de dengue, melhoria das condições de saneamento e renda. O aumento expressivo da criminalidade e de ocorrências relacionadas a eventos naturais geram preocupação e requerem ações direcionadas à educação, monitoramento e medidas de mitigação com potencial para atenuar os impactos destes agravos socioambientais. A dimensão institucional/política regrediu no período, tendo como principal fator a pequena participação feminina na política e as perdas no sistema de distribuição de água. A dimensão ambiental obteve o pior desempenho sustentável, evidenciado por fatores relacionados à baixa qualidade da água na sub-bacia, tendo como causa principal o lançamento de esgotos nos cursos d'água (PDRH-Velhas, 2015) e a crise hídrica. A Figura 4.8 apresenta os resultados que compõem o índice global de sustentabilidade na sub-bacia do Onça:

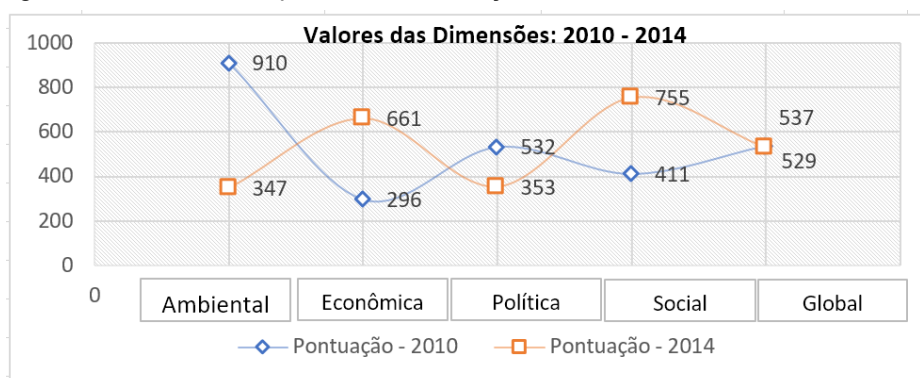
Figura 4.8 - Índice de Sustentabilidade Global: Painel da Sustentabilidade



Fonte: Autor, 2020.

O índice de sustentabilidade obtido para a sub-bacia Ribeirão Onça, nível médio (2014), evidencia que os avanços registrados nos setores socioeconômicos identificados na região tiveram como consequência o aumento da pressão sobre os recursos naturais e respectiva perda de qualidade ambiental (Figura 4.9).

Figura 4.9 - Gráfico: Dispersão de Pontuação - Painel da Sustentabilidade



Fonte: Autor, 2020.

De modo geral, a aplicação da ferramenta Painel da Sustentabilidade mostrou-se muito flexível e abrangente, contudo, a tarefa de definir indicadores adequados para a região e o cenário socioambiental constituem um processo moroso e que requer experiência do pesquisador e conhecimento das realidades locais. Os resultados obtidos pela ferramenta corroboram com o diagnóstico socioambiental disponível no Plano Diretor de Recursos Hídricos do Rio das Velhas (2014), que evidencia os problemas relacionados aos recursos hídricos, principalmente qualidade, além dos complexos problemas de poluição e gestão relacionados a grandes centros urbanos.

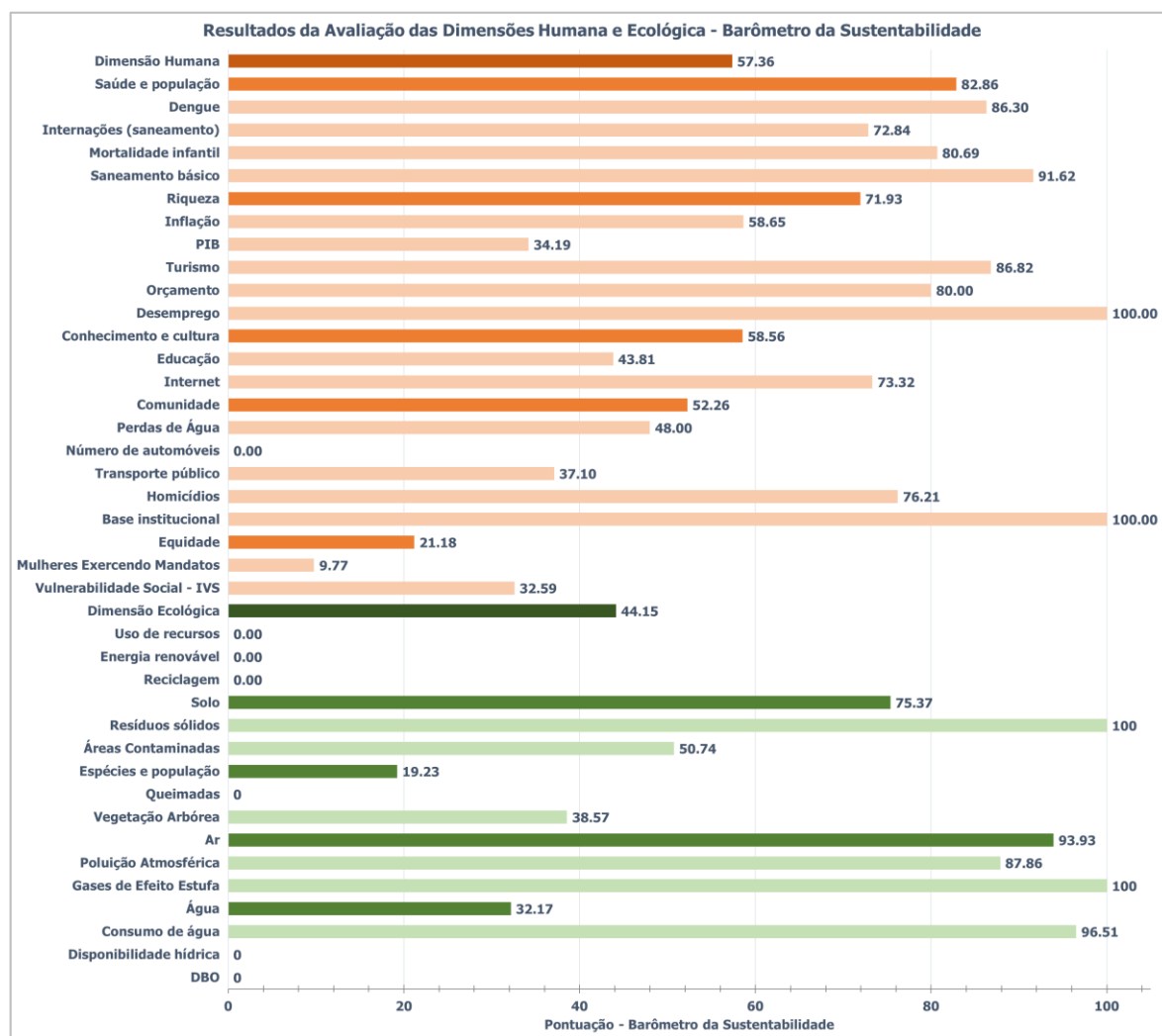
4.3 Uso do Barômetro da Sustentabilidade na Avaliação da Sub-bacia do Ribeirão Onça

O índice de sustentabilidade da sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Onça obtido pelo método do Barômetro da Sustentabilidade (BS) foi calculado por meio *software Microsoft Excel*, tendo como referência o ano 2014. Os valores obtidos para a dimensão Humana e Ecológica foram de 57,36 e 44,15, respectivamente, correspondendo a uma condição de maior equilíbrio dos fatores antrópicos frente à qualidade ambiental.

A Figura 4.10 apresenta os resultados das avaliações das dimensões Humana (laranja) e Ecológica (verde), sendo que os itens em tonalidade escura representam a dimensão, itens na

tonalidade média o tema e itens em tonalidade clara o indicador. As análises das dimensões são apresentadas nos itens subsequentes. A caracterização dos indicadores utilizados, bem como o detalhamento da metodologia, referências e critérios de valoração foram apresentados no item 3.4 desta pesquisa (Barômetro da Sustentabilidade – Seleção de Indicadores para a Sub-bacia do Onça).

Figura 4.10 - Avaliação das Dimensões Humana e Ecológica – Barômetro da Sustentabilidade



Fonte: Autor, 2020.

4.3.1 Dimensão Bem-estar Humano

O valor do índice de sustentabilidade obtido para a dimensão Bem-estar Humano foi 57,36, nível médio. O eixo temático Saúde e População apresentou o melhor resultado. Empregabilidade, base institucional e o bom atendimento da população por serviços de saneamento básico foram os fatores mais representativos para o nível de sustentabilidade, assim

contribuindo para a melhoria da qualidade de vida da população local. O eixo Equidade apresentou o pior desempenho sustentável, evidenciado pelo baixo nível de participação feminina na política local.

O eixo temático Saúde e População registrou o valor 82,86, nível sustentável. A taxa de dengue observada no período, 1,25 para cada grupo de 1.000 habitantes, valor muito inferior ao pior resultado identificado, Vitória/ES, 9,8 casos/1.000 habitantes, resultou no valor de 86,30 para o indicador, sustentável. Em relação às internações relacionados ao saneamento básico, a taxa de 2,52 internações para cada grupo 1.000 habitantes superou a pior condição, observada na cidade de Porto Alegre/RS, 4,95, e ficou abaixo da taxa de 1,61 internação/1.000 habitantes registrada no Rio de Janeiro/RJ, conferindo o valor de 72,84 para o indicador, nível quase sustentável. A taxa de mortalidade infantil, estimada em 9,97 óbitos para cada grupo de 1.000 nascidos vivos, registrou valor de 80,69, indicador sustentável, justificável por apresentar uma condição antagônica à taxa observada na cidade de Macapá/AP, 19,29 óbitos infantis/1.000 nascidos vivos. O índice de atendimento da população por serviços de saneamento foi de 96,30%, conferindo o valor de 91,62 ao indicador, sustentabilidade em contraste com as condições de saneamento observadas para a cidade de Florianópolis/SC, cujo índice computado foi de 55,86%, denotando fragilidades na metrópole catarinense.

O eixo Riqueza registrou o valor de 71,93 (nível quase sustentável), o baixo nível de desemprego no período, 2,9%, o aumento das receitas vinculadas a atividades turísticas e os bons resultados obtidos na gestão orçamentária foram os fatores mais relevantes em termos econômicos, caracterizando nível sustentável para os três indicadores referenciados. Em relação à renda *per capita*, R\$ 35.933,56, embora tenha registrado avanço representativo nos últimos anos, o valor local ainda se encontra muito abaixo de outras regiões metropolitanas brasileiras (destaque para Brasília/DF: R\$ 79.099,77), configurando valor 34,19 para o indicador, quase insustentável.

O tema Conhecimento e Cultura foi valorado em 58,56 (nível médio de sustentabilidade), o nível de desenvolvimento educacional da região medido pelo IDH Educação (0,745), encontra-se abaixo de outras capitais das regiões Sul e Sudeste do Brasil (destaque para Região Metropolitana de São Paulo: 0,809), assim contribuindo para a valoração mediana do item, 43,81. O acesso à internet, que contempla 77,40% dos domicílios, galgou avanços nos últimos

anos e tem mostrado crescimento sustentado, de forma a estimular a integração digital e facilitar a difusão de informações, refletindo em boa avaliação do indicador, valorado em 73,32, nível médio de sustentabilidade.

A avaliação do eixo Comunidade teve como resultado o valor de 52,26 (nível médio de sustentabilidade). O elevado índice de perdas no sistema de distribuição de água, 37,80%, e o nível de uso de transporte público pela população, 60,10 passageiros para cada grupo de 100 habitantes, apresentaram aspectos negativos quando comparados a regiões similares, sendo os indicadores valorados em 48,00 e 37,10, respectivamente, conferindo nível de sustentabilidade a ambos. A taxa de homicídios estimada para a região foi 26,27 homicídios/100.000 habitantes, valor em contraste com outras capitais brasileiras (Fortaleza/CE: 87,90; São Paulo: 13,20), configurando nível de sustentabilidade para o indicador, valorado em 82,50, embora a taxa tenha crescido no período 2010-2014 na região da sub-bacia. A forte base institucional de gestão socioambiental na sub-bacia do Onça, potencializaram a avaliação positiva do aspecto da vida na comunidade, configurando sustentabilidade para o indicador, valor 100.

A questão da Equidade obteve a pior avaliação na dimensão Humana, registrando valor de 21,18, considerado quase insustentável. A baixa participação feminina no cenário político, 2,79%, destacou-se negativamente, inferindo aspectos com potencial para contribuir na desigualdade de gênero local, o indicador mostrou-se muito inferior ao identificado na cidade de Maceió/AL, 28,57%, resultando no valor de 32,59, condição quase insustentável. Quanto ao Índice de Vulnerabilidade Social (IVS), registrado com o valor 0,253, apesar das melhorias propiciadas, principalmente, pelos serviços de saneamento básico, a realidade local encontra-se distante de valores observados em outras regiões metropolitanas, por exemplo, Curitiba, que apresentou IVS valorado em 0,160, desempenho superior ao observado na sub-bacia do Onça.

4.3.2 Dimensão Bem-estar Ecológico

O valor do índice de sustentabilidade para a dimensão Bem-estar Ecológico foi 44,15, que corresponde ao nível médio de sustentabilidade. Os eixos temáticos Espécies e População, Uso de Recursos e Água apresentaram os piores resultados, o eixo Ar contemplou os aspectos mais sustentáveis na dimensão Ecológica.

O eixo temático Uso de Recursos, registrou valor igual a 0, configurando insustentabilidade. A baixa taxa de reciclagem (0,93%) na sub-bacia mostrou-se muito inferior à capital paranaense, Curitiba/PR, que registrou o melhor desempenho (6,63%), conferindo valor nulo para o indicador, não sustentável. O indicador referente ao percentual do uso de energia renovável também recebeu valor nulo (não sustentável), estimado em 39,80%, o item apresentou-se muito abaixo do nível ótimo definido na metodologia, 78,70%.

Quanto ao eixo Água, este foi categorizado como quase insustentável, registrando o valor 32,17. O indicador referente ao consumo *per capita* de água registrou sustentabilidade, valor 96,51, o consumo local estimado em 167 l/hab./dia apresentou contraste com o pior desempenho identificado em algumas capitais brasileiras, com destaque negativo para Vitória/ES, 251 l/hab./dia. Em relação à disponibilidade hídrica, tomando como foco o escopo de atendimento de consumo humano e manutenção das funções ecossistêmicas na sub-bacia, o valor estimado 131 m³/hab./ano para o local mostrou-se muito inferior à referência ótima, 6.800 m³/hab./ano, configurando condição não sustentável para o indicador. O nível de DBO estimado para os cursos d'água locais, 52,06 mg/L, registrou concentração de carga orgânica muito superior ao enquadramento de classe almejado (Classe 2, limite: 3 mg/L), conferindo valor nulo e insustentabilidade ao indicador.

O eixo Solo apresentou valor 75,37, quase sustentável. A destinação de 100% dos resíduos sólidos urbanos recolhidos para aterros sanitários categorizou o indicador como sustentável, valor 100. Contudo, a região tem registradas 67 áreas contaminadas monitoradas pela FEAM (Fundação Estadual do Meio Ambiente – MG), principalmente por postos de combustíveis, fator que tende a pressionar entidades de gestão e fiscalização ambiental. Frente ao número de áreas contaminadas identificado na sub-bacia do Ribeirão Arrudas (limítrofe), 136, tem-se uma configuração de nível médio de sustentabilidade para este indicador, valorado em 50,74.

Embora esteja localizada em área de grande urbanização, o eixo Ar obteve o valor 93,93, que corresponde a nível sustentável, melhor desempenho observado na dimensão Ecológica. Os níveis de geração de gases de efeito estufa, estimado em 1,81 tCO₂e/hab., embora tenham aumentado nos últimos anos, ainda se mantém abaixo de padrões de emissão de outros grandes centros urbanos e da referência negativa estabelecida (5 tCO₂e/hab.), conferindo sustentabilidade ao indicador, valor 100. No quesito qualidade do ar, o volume de emissão de

partículas PM10 no período, 30,34 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, apresentou-se inferior aos limites determinados na legislação da CETESB (250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), ao passo que o indicador foi valorado em 87,86, sustentável.

O eixo Espécies e População, obteve valor 19,23, não sustentável, o pior resultado da dimensão Ecológica. O indicador referente à vegetação local obteve o valor 38,57 e considerou apenas espécies do tipo arbórea arbustiva. A área de vegetação arbórea *per capita* estimada para a região foi de 16,02 $\text{m}^2/\text{hab.}$, valor que configura nível médio de sustentabilidade diante dos padrões determinados na metodologia, 41,17 $\text{m}^2/\text{hab.}$ O aumento do número de queimadas observado na região é um fator de pressão à biodiversidade local, os 103 focos de queimadas identificados resultaram em valoração negativa para o indicador, classificado como não sustentável.

4.3.3 Índice de Sustentabilidade Global

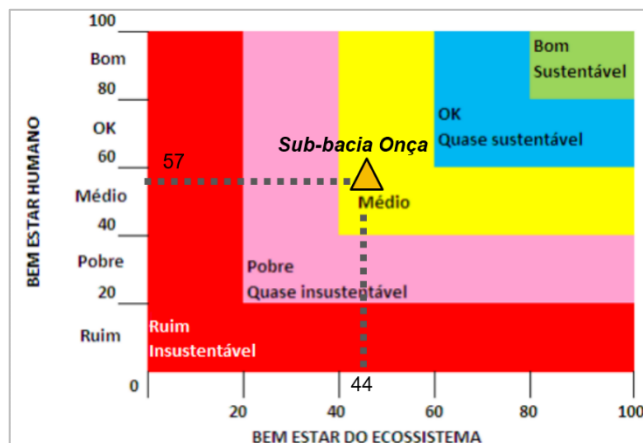
O índice de sustentabilidade do Barômetro da Sustentabilidade (BS) para a sub-bacia do Ribeirão Onça foi de 57,36 para a dimensão Humana (médio) e 44,15 (médio) para a dimensão Ecológica. A partir da análise gráfica das dimensões, a combinação destes valores representa o nível médio de sustentabilidade da região, que no caso do método BS é avaliada a partir do contraste/comparação com outras localidades e valores de referência.

Para o Bem-estar Humano, a avaliação positiva de indicadores relacionados a questões socioeconômicas e saneamento básico foram os fatores preponderantes para condicionar melhorias no nível de sustentabilidade da sub-bacia, com destaque para os seguintes indicadores: Resíduos sólidos (gestão e operação); Base institucional (robusta); Gases de efeito estufa (geração); Taxa de desemprego (baixa).

Quanto aos aspectos ambientais que compõem a dimensão Bem-estar Ecológico, de forma geral, estes apresentaram desempenhos menos sustentáveis, tendo o baixo nível de qualidade dos recursos hídricos locais como principal fator de degradação. Os indicadores que apresentaram os piores desempenhos foram: DBO (baixa qualidade da água); Disponibilidade hídrica (baixa); Reciclagem (baixa); Energia renovável (uso); Número de queimadas (alto); Número de automóveis *per capita* (alto).

A Figura 4.11 apresenta os resultados que compõem o índice global de sustentabilidade na sub-bacia do Onça.

Figura 4.11 - Índice de Sustentabilidade Global: Barômetro da Sustentabilidade



Fonte: Adaptado de Van Bellen, 2006.

Os resultados obtidos pelo Barômetro da Sustentabilidade mostraram-se, de forma sucinta, pertinentes ao diagnóstico socioambiental disponível no Plano Diretor de Recursos Hídricos do Rio das Velhas (2014), tendo registrado com destaque os graves problemas relacionados aos recursos hídricos (aspecto qualitativo) e o contexto básico das condições socioeconômicas e institucionais locais. Tal qual a ferramenta Painel da Sustentabilidade, o Barômetro também se mostrou flexível e abrangente, diferenciando-se da primeira pelo fato de adicionar mais um fator subjetivo, a elaboração de escalas de desempenho, que, a depender do nível de experiência do pesquisador, pode resultar em graves distorções da realidade.

4.3.4 Índices de Estresse Ambiental e de Bem-estar

Os índices de Estresse Ambiental e de Bem-estar, obtidos por meio das equações Eq. 18 e 19, respectivamente, fornecem elementos de síntese quanto ao nível de pressão exercido sobre o meio ambiente e a relação entre o custo do bem-estar humano frente ao estresse ecológico causado. O valor calculado para o Índice de Estresse Ambiental foi 55,85, que sinaliza que o nível de pressão sobre os recursos naturais ocorre sob intensidade mediana. O Índice de Bem-estar foi valorado em 1,03, caracterizando que as ações antrópicas estão ocorrendo em nível próximo à capacidade de suporte do ecossistema.

4.4 Uso do WSI na Avaliação da Sub-bacia do Ribeirão Onça

O Índice de Sustentabilidade de Bacias Hidrográficas WSI, calculado pela equação Eq. 20 (média dos valores obtidos nos indicadores Hidrologia, Ambiente, Vida e Política), foi 0,628, representando um nível de sustentabilidade intermediário na sub-bacia do Ribeirão Onça. Os resultados da avaliação são apresentados no Quadro 4.4. Em termos de sustentabilidade, a dimensão Hidrologia foi a área mais crítica e a dimensão Institucional/Política a mais robusta, Meio Ambiente e Vida apresentaram valores intermediários. A fim de validar os resultados da aplicação do WSI, os mesmos foram confrontados com dados do diagnóstico socioambiental da sub-bacia do Ribeirão Onça (PDRH-Velhas, 2015), elaborados em 2013/2014, período coincidente com as referências de análise temporais deste trabalho (2010-2014).

Quadro 4.4 - WSI – Resultados da avaliação da sustentabilidade

Indicadores		Pressão		Estado		Resposta		Resultado Final	
		Parâmetro	Resultado	Parâmetro	Resultado	Parâmetro	Resultado	Dimensões	
Hidrologia	Quantidade	Variação da disponibilidade hídrica <i>per capita</i> da bacia no período (m³/hab./ano)	0,50	Disponibilidade hídrica <i>per capita</i> na bacia (média, longo período) em m³/hab./ano	0	Melhorias na eficiência do uso da água no período	0,25	0,25	0,17
	Qualidade	Variação da DBO5 na bacia no período (média), mg/L	0	DBO5 na bacia (média de longo período) em mg/L	0	Melhorias no tratamento/disposição de esgoto no período	0,25	0,08	
Meio Ambiente		EPI da bacia (Rural e Urbano) no período	0,75	% da área da bacia com cobertura vegetal natural	0,75	Evolução das áreas de conservação na bacia no período	0,50	0,67	
Vida		Variação do PIB <i>per capita</i> na bacia no período	1,00	IDH da bacia (medido pela população)	0,75	Evolução do IDH da bacia no período	0,50	0,75	
Política/ Institucional		Variação do IDH-Educação na bacia no período	0,75	Capacidade institucional e de gestão de recursos hídricos na bacia	1,00	Evolução dos gastos com gestão de recursos hídricos na bacia no período	1,00	0,92	
Subtotal		Pressão	0,688	Estado	0,625	Resposta	0,562		
Índice de Sustentabilidade da Sub-Bacia do Ribeirão Onça - WSI								0,628	

Fonte: Autor, 2020.

4.4.1 Dimensão Hidrologia

O valor de avaliação da dimensão Hidrologia, obtido por meio das médias dos resultados dos subgrupos Quantidade (0,25) e Qualidade (0,08), foi de 0,17, indicando péssimas condições dos recursos hídricos na sub-bacia. Este fator ratifica o estágio de degradação diagnosticado no

PDRH Velhas, que classifica segundo a Resolução CONAMA 357/2005 os cursos d'água da região em Classe 3 (vetado contato primário, uso para consumo humano após tratamento convencional ou avançado). A baixa qualidade das águas está correlacionada ao lançamento de esgotos domésticos e efluentes industriais (PDRH-Velhas, 2015). A crise hídrica evidenciada no período é um fator de agravamento da situação, uma vez que as vazões nos cursos d'água locais reduziram-se, aumentando a concentração de carga orgânica (DBO), ao mesmo tempo em que comprometeram a disponibilidade hídrica na sub-bacia do Ribeirão Onça.

Identificou-se a existência de esforços, ações e programas socioambientais na região com o intuito de atenuar a grave situação dos recursos hídricos locais, bem como o registro de avanços no tratamento e disposição de esgotos e maior eficiência no uso da água. Com tudo, o objetivo de dispor de água de maior qualidade e quantidade na região ainda é uma realidade muito distante, que irá requerer o emprego de muitos recursos técnicos, financeiros e campanhas de educação ambiental.

4.4.2 Dimensão Meio Ambiente

Quanto à dimensão Meio Ambiente, apesar do grande número de habitantes e atividades produtivas na sub-bacia, observou-se moderado aumento da pressão antrópica sobre os recursos naturais da região, que acompanhado pelo avanço nas delimitações e regularização de áreas destinadas à conservação, resultaram no valor 0,67, indicando nível intermediário de sustentabilidade ambiental. Foram identificadas 54 unidades de conservação na região, ocupando 3,17% do território (PDRH-Velhas, 2015), logrando certa resiliência à sub-bacia.

Há de ressaltar que, apesar de a pressão e atual estado dos recursos naturais locais não apresentarem riscos imediatos à sustentabilidade da sub-bacia na dimensão ambiental, as ações e programas de mitigação de impactos e prevenção têm se mostrado em nível mediano, ainda abaixo do estágio de conservação identificado. Sob este aspecto, os esforços empregados podem não ser suficientes para evitar rupturas abruptas do equilíbrio ambiental caso os níveis de pressão antrópica sobre os recursos aumentem nos próximos anos.

4.4.3 Dimensão Vida

No quesito humano, dimensão Vida, observou-se grande avanço em relação à renda, contudo o IDH da região não acompanhou a evolução financeira, que pode ter sido potencializada por

grandes obras de infraestrutura no período de análise (Belo Horizonte, cidade-sede da Copa do Mundo, 2014) e ampliação do setor de serviços, principal componente do PIB na sub-bacia, 67,09% do total (PDRH-Velhas, 2015).

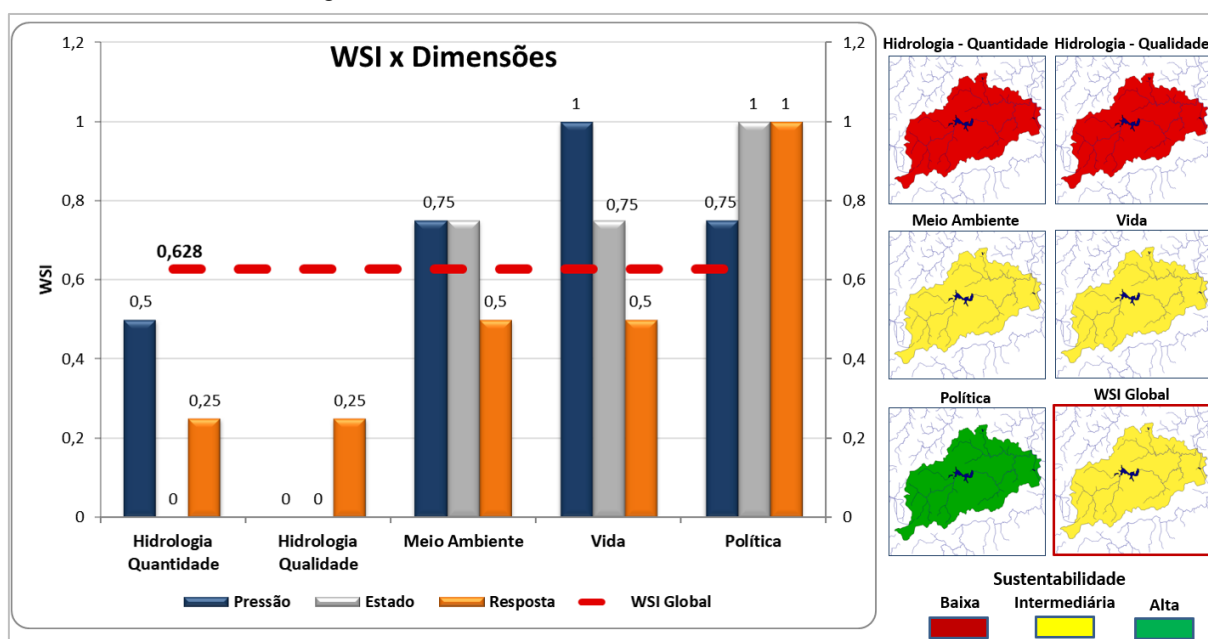
4.4.4 Dimensão Institucional/Política

A dimensão Institucional obteve as melhores avaliações, isto se deve em parte ao grande número de entidades governamentais e não governamentais correlatas ao meio ambiente e recursos hídricos concentradas na cidade de Belo Horizonte, bem como o interesse em recuperar/manter as riquezas arquitetônicas, históricas e culturais da região da Lagoa da Pampulha, Patrimônio Cultural da Humanidade. A gestão dos recursos hídricos é tutelada pelo Subcomitê de Bacia Hidrográfica do Ribeirão Onça, que dispõe de equipe técnica qualificada, Plano Diretor de Recursos Hídricos, plano de ações que contempla 42 programas socioambientais, com previsão de investimentos no valor de R\$ 16.200.540,62 em um período de 16 anos, distribuídos majoritariamente na área de saneamento ambiental (43,28%) (PDRH, 2015).

4.4.5 Índice de Sustentabilidade Global

A Figura 4.12 evidencia os resultados da aplicação do WSI na sub-bacia do Onça, facilitando a identificação das dimensões e estágios mais e menos sustentáveis, corroborando com o diagnóstico de sustentabilidade disponível no PDRH-Velhas:

Figura 4.12 - Índice de Sustentabilidade Global: WSI



Fonte: Autor, 2020.

A sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Onça obteve valor WSI de 0,628, configurando uma região com nível de sustentabilidade intermediário. Os valores obtidos na análise dos processos Pressão (0,688), Estado (0,625) e Resposta (0,562) indicam que os níveis de pressão mostram-se em nível de desempenho superior aos identificados no estágio de degradação atual e às respostas de mitigação. Isto significa dizer que as ações de degradação têm ocorrido em nível inferior às condições socioambientais vigentes, de modo que região pode ainda estar sofrendo impactos negativos de eventos/fenômenos anteriores ao período avaliado (2010-2014). Quanto ao nível de resposta, o valor inferior à pressão e estado de degradação atual indica que as ações para atenuar os impactos socioambientais na sub-bacia podem não ser suficientes para lograr sustentabilidade à região em médio e longo prazo.

Os parâmetros mais relevantes para o comprometimento da sustentabilidade foram identificados na dimensão Hidrologia (qualidade e quantidade), tendo como fatores potenciais de degradação o lançamento de esgotos domésticos, restrições de vazões (seca) e o elevado adensamento populacional na sub-bacia. Em contrapartida, a dimensão Institucional/Política apresentou-se bastante robusta, uma vez que a sub-bacia dispõe de instrumentos e entidades de gestão de recursos hídricos com perspectivas de investimentos em programas socioambientais destinados à elevação do nível de sustentabilidade local.

4.5 Síntese dos Resultados das Ferramentas PE, PS, BS e WSI

Os métodos aplicados nesta pesquisa (PE, PS, BS e WSI) dispõem de diferentes metodologias e divergências conceituais, ao passo que cada qual apresenta capacidade de evidenciar fatores críticos e robustos variados, conforme evidenciado no Quadro 4.5. Este fato não caracteriza um caso de divergência estrito, uma vez que as ferramentas PS e BS e WSI identificaram de modo comum fatores robustos relacionados a aspectos socioeconômicos e mais frágeis, relacionados a aspectos ambientais, especialmente recursos hídricos (qualidade/poluição), elemento elencado como item crítico principal por todas as ferramentas (PS, BS e WSI), excluindo-se a PE, cuja metodologia está fundamentada em fluxos de matéria e energia, de modo que esta ferramenta apresenta um escopo de aplicação muito distinto das demais.

Sob este aspecto, os resultados de avaliação do nível de sustentabilidade global obtidos para a área de interesse, com exceção da Pegada Ecológica, que tem direcionamento para o consumo, mostraram-se alinhados, classificando a região como nível de sustentabilidade médio/intermediário. No caso específico da sub-bacia do Ribeirão Onça, este fator evidencia que os métodos utilizados tendem a apresentar resultados de avaliação uniformes, com pouca distorção na classificação do nível de sustentabilidade global.

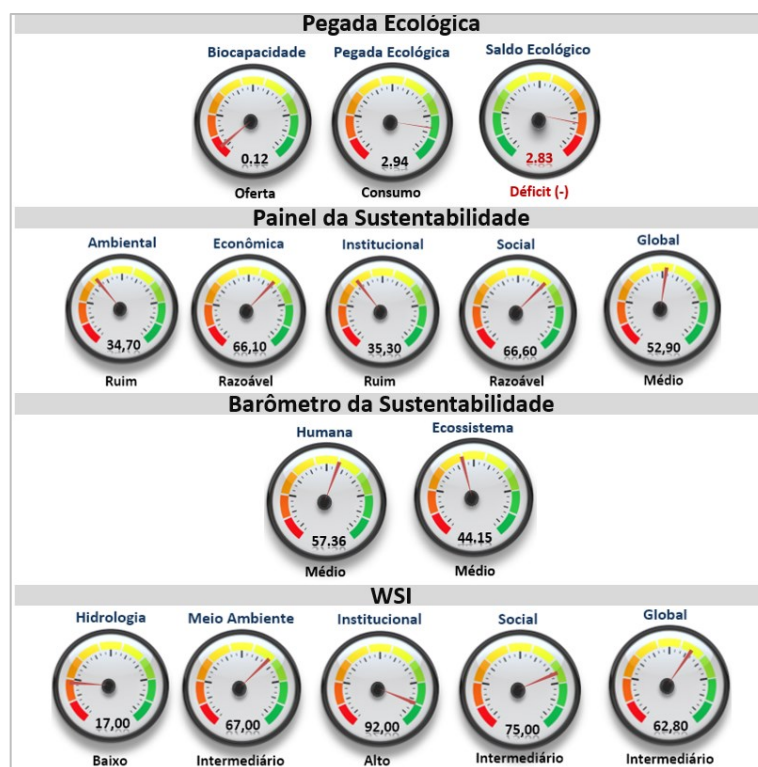
Quadro 4.5 - Síntese de aplicação das ferramentas PE, PS, BS e WSI

Ferramenta	Nível de Sustentabilidade	Dimensões e Elementos	
		Críticos	Robustos
Pegada Ecológica (PE)	Déficit Ecológico	Combustíveis Fósseis	Vegetação
		- Gasolina (consumo)	- Floresta (absorção de CO ₂)
Painel da Sustentabilidade (PS)	Médio	Ambiental	Social
		- DBO	- Serviços de saneamento básico
		- Gases de efeito estufa	- Interações e dengue
Barômetro da Sustentabilidade (BS)	Intermediário	- Vegetação	- Taxa de mortalidade infantil
		Ecológica	Humana
		- DBO e Disponibilidade hídrica	- Serviços de saneamento básico
		- Reciclagem e Energia renovável	- Base institucional
WSI	Intermediário	- Número de queimadas	- Taxa de desemprego
		Hidrologia	Robusta
		- DBO	- Base institucional

Fonte: Autor, 2020.

A Figura 4.13 sintetiza os resultados de avaliação da sustentabilidade resultantes da aplicação das ferramentas PE, PS, BS e WSI na sub-bacia do Ribeirão Onça.

Figura 4.13 - Síntese dos Resultados das Ferramentas PE, PS, BS e WSI



Fonte: Autor, 2019.

Conforme salientado no Quadro 4.5 e Figura 4.13, os métodos aplicados nesta pesquisa têm potencial para identificar importantes problemas socioambientais no contexto de gestão de bacias hidrográficas e regiões metropolitanas, de modo que a utilização fundamentada das metodologias aliada à disposição de dados em volume e qualidade adequados lhes confere capacidade de auxiliar em processos de tomadas de decisão complexos, fornecer diagnósticos socioambientais simplificados e dispor informação qualificada para fomentar políticas públicas.

4.6 Análise Comparativa dos Resultados da Aplicação de Ferramentas de Sustentabilidade Seleccionadas

Os resultados da avaliação da sustentabilidade por meio das ferramentas seleccionadas neste estudo evidenciaram a impossibilidade de comparação direta e objetiva dos resultados devido às diferentes dimensões adotadas e peculiaridades de cada método:

- Pegada Ecológica (PE): Ecológica;
- Painel da Sustentabilidade (PS): Ambiental, Social, Econômica e Institucional;
- Barômetro da Sustentabilidade (BS): Ecológica e Humana;

- WSI: Hidrologia, Meio Ambiente, Vida, Institucional/Política.

A fim de tornar os resultados obtidos mais propícios a comparações, optou-se por adotar dimensões e escala de avaliação comuns. Visando manter alinhamento com o objetivo da pesquisa (avaliar a sustentabilidade de bacias hidrográficas), foram escolhidas como referências de dimensões de avaliação as aplicadas no WSI (Hidrologia, Meio Ambiente, Vida, Institucional/Política). A escala de avaliação adotada foi a da ferramenta Painel da Sustentabilidade (0-1000 pontos, convertida para valores percentuais), pelo fato de apresentar maior número de intervalos e sensibilidade à variação de indicadores. Deste modo, foram necessárias algumas adequações:

1. A ferramenta PE, por ser unidimensional, não é diretamente comparável às demais, mostrando-se incompatível às análises integradas, de modo que foi necessário desconsiderá-la neste tópico;
2. Os indicadores que compõem as ferramentas PS, BS foram redistribuídos nas dimensões originárias das dimensões de avaliação do WSI (Hidrologia, Meio Ambiente, Vida, Institucional/Política);
3. Os valores brutos originais registrados nas escalas e resultados das ferramentas PS, BS e WSI foram convertidos para valores percentuais, a fim de inseri-los em referências de pontuação comuns;
4. Os resultados das ferramentas BS e WSI foram reajustados de suas respectivas escalas de pontuação global para a escala do PS.

Os ajustes de dimensões e reagrupamento dos indicadores da ferramenta PS, bem como a adequação de escala, são apresentados no Quadro 4.6. O índice global obtido pelo método foi classificado como ruim, com destaque positivo para a dimensão Vida e negativo para a dimensão Hidrologia.

Quadro 4.6 - Ajustes de dimensões e escala para o Painel de Sustentabilidade

Indicadores	Ajuste de Dimensões - WSI	Resultado - Processamento	Ajuste de Escala - Pannel	Nova Classificação - Pannel
DBO	Hidrologia	291,00	29,10%	Muito Ruim
Índice de Disponibilidade hídrica				
Equilíbrio orçamentário				
Taxa de passageiros em transporte coletivo (por 100 habitantes)	Institucional /Política	353,00	35,30%	Ruim
Índice de Perdas na Distribuição de Água				
Resíduos sólidos urb. destinados à reciclagem (%)				
Acesso à internet (percentual de domicílios)				
Proporção de Mulheres Exercendo Mandatos no Poder Legislativo (%)				
Base institucional de gestão socioambiental				
Emissões de Gases de Efeito Estufa (tCO2e/habitante)	Meio Ambiente	375,00	37,50%	Ruim
Poluição Atmosférica (Material Particulado MP10)				
Resíduos Sólidos (% destinação adequada)				
Vegetação (m²/habitante)				
Índice de Vulnerabilidade Social - IVS	Vida	712	71%	Bom
Ocorrências motivadas por eventos naturais				
Índice de Serviços de saneamento básico (água, esgoto e resíduos)				
Mortalidade infantil				
Taxa de Homicídios (por 100.000 habitantes)				
Internações por doenças relacionadas ao saneamento básico e notificações de agravos de doenças (por 1.000 habitantes)				
Desemprego (%)				
Turismo (Índice de competitividade turística)				
Produto Interno Bruto <i>per capita</i>				
Inflação (%)				
Índice Global - PS				

Fonte: Autor, 2019.

O Quadro 4.7 traz os resultados dos ajustes de dimensões, reagrupamento de indicadores e adaptação de escala para a ferramenta BS. O índice global foi classificado como médio pelo método, sendo que a dimensão Hidrologia apresentou o pior desempenho e Vida o melhor.

Quadro 4.7 - Ajustes de dimensões e escala para o Barômetro da Sustentabilidade

Indicadores	Ajuste de Dimensões -WSI	Resultado - Processamento	Ajuste de Escala - Painei	Nova Classificação - Painei
DBO	Hidrologia	32,17	32,17%	Muito Ruim
Disponibilidade hídrica <i>per capita</i>				
Consumo de água <i>per capita</i> (l/dia)				
Resíduos sólidos urbanos destinados à reciclagem (%)	Institucional/ Política	43,52	43,52%	Ruim
Proporção de Mulheres Exercendo Mandatos no Poder Legislativo (%)				
Base institucional de gestão socioambiental				
Taxa de passageiros em transporte coletivo (por 100 habitantes)				
Número de automóveis <i>per capita</i>				
Índice de Perdas na Distribuição de Água				
Acesso à internet (percentual de domicílios)				
Equilíbrio orçamentário				
Emissões de Gases de Efeito Estufa (tCO2e/habitante)	Meio Ambiente	53,88	53,88%	Médio
Concentrações de PM10 (material particulado - MP)				
Vegetação Arbórea (m2/habitante)				
Focos de queimadas				
Áreas contaminadas				
Destinação inadequada de resíduos (%)				
Porcentagem da energia total proveniente de fontes renováveis, como parte do consumo total de energia da cidade (%)				
Índice de Vulnerabilidade Social - IVS	Vida	69,43	69,43%	Bom
Taxa de Homicídios (por 100.000 habitantes)				
Educação (IDH Educação)				
Desemprego (%)				
Turismo (Índice de competitividade turística)				
Produto Interno Bruto <i>per capita</i>				
Inflação (%)				
Índice de Serviços de saneamento básico (água, esgoto e resíduos)				
Mortalidade infantil				
Internações por doenças relacionadas ao saneamento básico (por 1.000 habitantes)				
Dengue notificações de agravos de doenças (por 1.000 habitantes)				
Índice Global - BS			49.75%	Médio

Fonte: Autor, 2020.

A ferramenta WSI dispõe a base de dimensões comuns utilizadas, de modo que apenas a escala foi passível de adaptação, os resultados são apresentados no Quadro 4.8. O índice obtido pela ferramenta foi classificado como razoável, o melhor resultado está vinculado à dimensão Institucional/Política, o pior à dimensão Hidrologia.

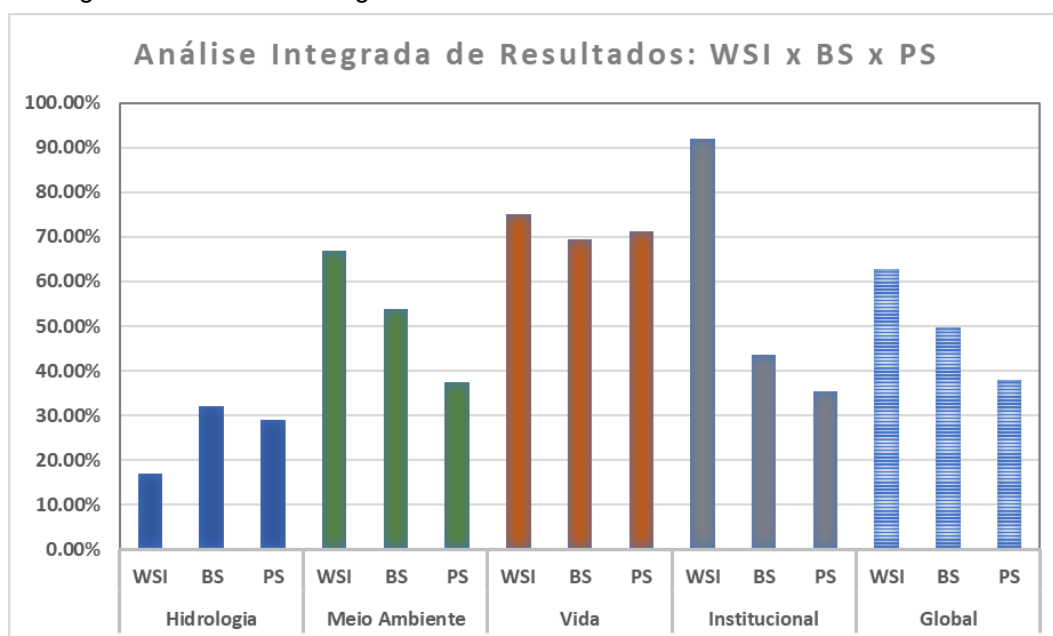
Quadro 4.8 - WSI – Ajustes de escala para a WSI

Dimensões - WSI	Resultado - WSI	Ajuste de Escala - Painei	Nova Classificação - Painei
Hidrologia	0,17	17,00%	Severo
Institucional/Política	0,92	92,00%	Excelente
Meio Ambiente	0,67	67,00%	Bom
Vida	0,75	75,00%	Bom
Índice Global - WSI		62,75%	Razoável

Fonte: Autor, 2020.

A Figura 4.14 apresenta os resultados da análise integrada das ferramentas WSI, PS e BS. Na dimensão Hidrologia o WSI apresentou resultado mais restritivo (severo), as ferramentas BS e PS forneceram valores similares e classificações idênticas (muito ruim). Os resultados e classificações obtidos pelo WSI e BS na dimensão Meio Ambiente mostraram proximidade, bom e razoável, respectivamente, PS apresentou maior rigidez (ruim). A dimensão vida apresentou classificação idêntica para as três ferramentas (bom), demonstrando maior equilíbrio no método de processamento de dados socioeconômicos. A classificação obtida pelo WSI para a dimensão Institucional/Política foi excelente, apresentando discrepância com os resultados registrados por BS e PS, ruim. Os índices globais de sustentabilidade apresentaram diferença de classificação entre os métodos WSI, BS e PS, razoável, médio e ruim, respectivamente.

Figura 4.14 - Análise Integrada em Escala e Dimensões Comuns: WSI x BS x PS



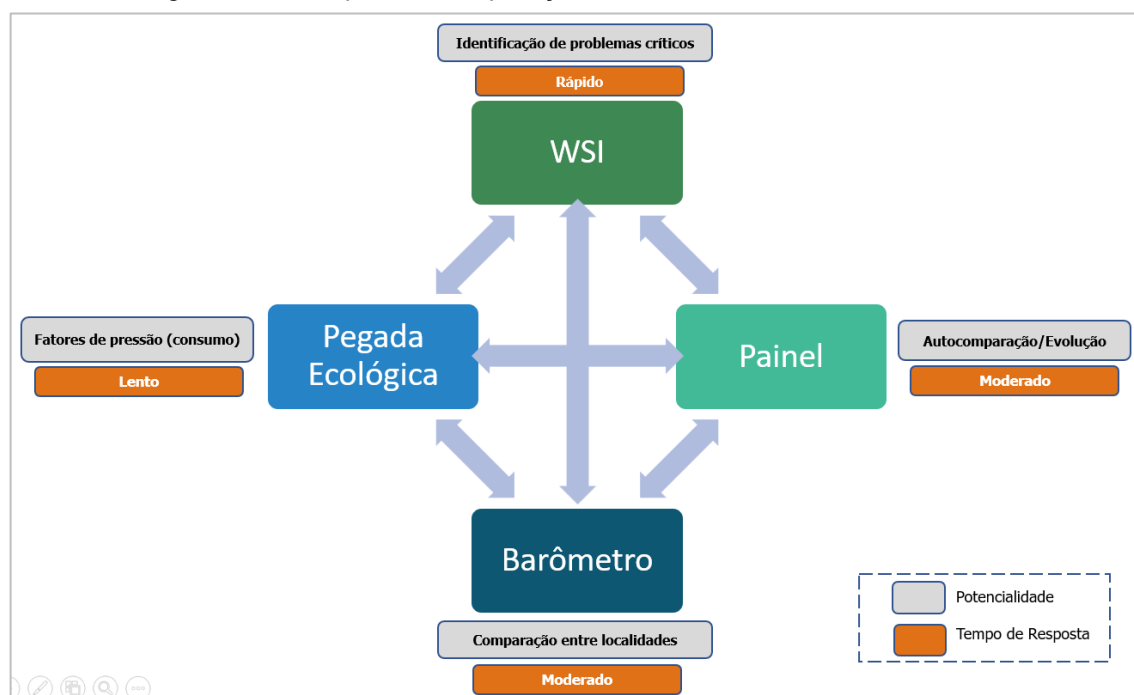
Fonte: Autor, 2020.

Conforme pode ser observado na Figura 4.14, ao adaptar indicadores de ferramentas diferentes a uma base de dimensões comuns evidenciam-se algumas discrepâncias entre os resultados obtidos por cada método. Mormente, os resultados da análise integrada devem ser interpretados

de forma abrangente, considerando que o processo de readequação de indicadores em dimensões para os quais não há enquadramento em sua metodologia original tem potencial para resultar em distorções numéricas e objetivas, em maior ou menor grau, a depender do nível de similaridade entre as metodologias sob análise. Deste modo, recomenda-se evitar a comparação direta entre os resultados dos processamentos das ferramentas WSI, BS e PS, ao passo que se deve privilegiar avaliações integradas em sentido complementar, com o intuito de relativizar nuances metodológicas e preencher lacunas de informações/conhecimento.

As ferramentas aplicadas neste estudo apresentam limitações e potencialidades, conforme foram apresentados e discutidos ao longo desta pesquisa. No contexto de avaliação da sustentabilidade da sub-bacia do Ribeirão Onça, observou-se que os resultados obtidos pelos diferentes métodos representam peculiaridades típicas da fundamentação teórica/empírica de cada ferramenta, de modo que o uso de determinado índice não exclui/invalida outro, os resultados tendem a ser complementares. Sob este aspecto, as ferramentas podem ser aplicadas de forma sequencial ou não, de acordo com os objetivos do pesquisador, tempo disponível para avaliação e complexidade. As características básicas de orientação quanto à seleção dos métodos estão sintetizadas na Figura 4.15.

Figura 4.15 - Sequência de aplicação das ferramentas WSI, PS, BS e PE



Fonte: Autor, 2019.

No contexto deste estudo, a sequência ideal de aplicação das ferramentas para mensuração da sustentabilidade na sub-bacia do Ribeirão Onça e seus objetivos/resultados estão dispostos no Quadro 4.9:

Quadro 4.9 - Etapas de aplicação das ferramentas na sub-bacia do Ribeirão Onça

Etapa	Ferramenta	Objetivo/Resultado
1	WSI	- Objetivo: Identificar fatores críticos. - Resultado: hidrologia (poluição dos cursos d'água locais).
2	Painel da Sustentabilidade	- Objetivo: Identificar a autoevolução da sub-bacia. - Resultado: nível de sustentabilidade médio, perda de qualidade ambiental.
3	Barômetro da Sustentabilidade	- Objetivo: Identificar o nível de sustentabilidade em relação a outras regiões. - Resultado: nível de sustentabilidade médio.
4	Pegada Ecológica	- Objetivo: Identificar fatores de pressão sobre recursos naturais. - Resultado: consumo de combustíveis fósseis (gasolina e diesel) e consumo de carne.

Fonte: Autor, 2020.

5. VERIFICAÇÃO DA APLICABILIDADE DAS FERRAMENTAS DE SUSTENTABILIDADE SELECIONADAS AO ESCOPO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS

5.1 Avaliação da Aplicabilidade das Ferramentas PE, PS, BS e WSI na Sub-bacia do Ribeirão Onça

O bom nível de aceitação pela comunidade científica e a aplicabilidade dos métodos Pegada Ecológica (PE), Painel da Sustentabilidade (PS) e Barômetro da Sustentabilidade (BS) na avaliação da sustentabilidade são fatores verificáveis e justificados na literatura consultada neste trabalho. Contudo, no escopo de bacias hidrográficas há um número restrito de aplicações destas ferramentas, neste sentido, este tópico se dedica a verificar o uso da PE, PS e BS nesta delimitação geográfica, especificamente na sub-bacia do Ribeirão Onça. A ferramenta WSI foi desenvolvida exclusivamente para avaliar bacias hidrográficas, contudo, por se tratar de uma ferramenta com uso em expansão, também foi avaliada quanto à aplicabilidade neste escopo.

Os trabalhos desenvolvidos por Van Bellen ("Indicadores de sustentabilidade: uma análise comparativa", 2002) e Rohan *et al.* ("Potencialidades e limitações dos instrumentos de mensuração da sustentabilidade", 2018) fornecem um grande número de contribuições e análises das principais fragilidades e potencialidades das ferramentas PE, PS e BS, de modo que são as referências para as verificações das suas aplicações na sub-bacia do Ribeirão Onça, conforme apresentados nos Quadros 5.1, 5.2, 5.3. O Quadro 5.4 dispõe informações sobre a aplicabilidade do WSI ao presente estudo.

Quadro 5.1 - Pegada Ecológica: Aplicabilidade ao estudo

Característica (Aspecto +/-)	Item confirmado no estudo?
Os resultados são de fácil entendimento (+). - Hardi & Barg, 1997; Van Bellen, 2002.	Sim. Resultados sintetizados objetivamente.
Trabalha de forma holística, considerando aspectos ambientais e humanos (+). - Hardi & Barg, 1997; Froehlich, 2014.	Parcialmente. Contempla aspectos ambientais e humano, contudo o enfoque ecológico e centrado nas relações de consumo limita a abrangência.
Possui capacidade de agregar indicadores utilizando dados por vezes contraditórios (+). - Froehlich, 2014.	Sim. Permite agregar e processar dados de diferentes concepções.
Incorpora valores da sociedade para determinação da sustentabilidade (+). - Hardi & Barg, 1997.	Parcialmente. Os indicadores utilizados são pré-determinados pelos desenvolvedores da ferramenta, o fato de estarem atrelados a fatores de consumo agregam indiretamente alguns valores sociais.
Necessita de cálculos complexos (-). - Chambers, Simmons, Wackernagel, 2000; Van Bellen, 2002.	Sim. A necessidade de conversão de variáveis e suas respectivas unidades para outras formas de energia e área dificulta a obtenção dos resultados.

Característica (Aspecto +/-)	Item confirmado no estudo?
Resultados refletem estado atual, não possibilitando extrapolações no do tempo (-). - Hardi & Barg, 1997; Van Bellen, 2002.	Parcialmente. Embora os resultados tenham como base um ano de referência, os mesmos podem ser efetuados para diversos períodos e comparados posteriormente.
Concentra-se na dimensão ecológica e avança pouco nas análises das dimensões social e econômica (-). - Hardi & Barg, 1997; Santos; Xavier; Lisboa & Barros, 2010; Borba, 2014.	Sim. A metodologia não contempla aspectos socioeconômicos.
Cálculos restringem-se apenas às categorias mais importantes de bens de consumo e serviços (-). - Lisboa & Barros, 2010.	Sim. A metodologia adota classes pré-definidas, de modo que os resultados tendem a ser subestimados.
Genérica e pouco científica (-). - Lourenço, 2006; Van Bellen, 2002.	Sim. Apresenta alto nível de abstração, a complexidade das inter-relações entre os indicadores definidos e operações de transformação de matéria e energia fragilizam a aplicação da ferramenta.
Não considera impactos externos, mudanças tecnológicas ou degradação da terra (-). - Van Den Bergh & Verbruggen, 1999; Van Kooten & Bulte, 2000; Fiala, 2008.	Parcialmente. Os parâmetros de produtividade da ferramenta são atualizados anualmente, buscando incorporar impactos de melhorias tecnológicas e restrições de uso/ocupação do solo.
Dados de atividades econômicas são difíceis de serem convertidos em unidades de terra (-). - Evans; Strezov; 2015.	Sim. A tentativa de conversão de consumo em unidades de terra carrega alto nível de subjetividade e fragilidade científica.
Possui parâmetros suficientes e representativos para avaliação da qualidade/quantidade de água (+). - Autor, 2020.	Não. O método tem como base o mapeamento e conversão de fluxos de matéria e energia, aspectos relacionados à água são tratados de forma superficial e indireta (inserida em outras classes: agricultura, pecuária, pesca etc.).

Fonte: Autor, 2020.

Quadro 5.2 - Pannel da Sustentabilidade: Aplicabilidade ao estudo

Característica	Item confirmado no estudo?
Cálculos de baixa a moderada complexidade (+). - Van Bellen, 2002; Farsari & Prastacos, 2002.	Sim. Metodologia de cálculo com dificuldade moderada.
Resultados são de fácil entendimento (+). - Van Bellen, 2002; Campos & Ribeiro, 2007; Froehlich, 2014.	Sim. Resultados dispostos graficamente.
Mostra a interação das dimensões da sustentabilidade na avaliação de um sistema (+). - Van Bellen, 2002; Froehlich, 2014.	Sim. Dimensões avaliadas são apresentadas graficamente e comparáveis de forma objetiva.
Sensibilidade para identificar mudanças ao longo do tempo (+). - Campos & Ribeiro, 2007.	Sim. Ferramenta permite comparar de forma objetiva evoluções da sustentabilidade do sistema ao longo do tempo.
Integra relações complexas por meio de avaliações concisas (+). - Froehlich, 2014.	Sim. Processamento efetuado por <i>software</i> , que dispõem as informações de forma gráfica.
Formato altamente comunicativo, visualização dos dados em diversos modos (+). - Scipioni et al., 2009; Froehlich, 2014.	Sim. <i>Software</i> utilizado para processamento permite uma série de modalidades de visualização de dados: gráfica, numérica, analítica.
Não oferece um conjunto adequado de indicadores para avaliar a sustentabilidade (-). - Mori & Christodoulou, 2012.	Não. Embora exista uma listagem de variáveis de referência para uso da ferramenta, os autores recomendam que a escolha das variáveis ocorra de forma participativa entre os diversos atores envolvidos.
Não considera os impactos externos, embora seja possível capturá-los se indicadores de entrada relevantes forem criados (-). - Mori & Christodoulou, 2012.	Parcialmente. A ferramenta dispõe de recursos que permitem atribuir pesos às variáveis, propiciando análises mais sensíveis.
Excesso de dimensões mascara a dependência dos recursos naturais (-). - Van Bellen, 2002.	Não. O número de dimensões recomendadas pelos desenvolvedores mostrou-se factível a estudos sob o tema sustentabilidade.
Resultados influenciam pouco a sociedade em direção à mudança (-). - Van Bellen, 2002.	Não. A ferramenta apresenta boa capacidade de comunicação visual, a entidade responsável pelo estudo deve verificar a disponibilidade de investimento e sensibilização da comunidade.
Baixo potencial educativo (-). Van Bellen, 2002.	Não. A metodologia tem uma apresentação clara e modo gráfico, sendo necessário mais esforços de difusão da ferramenta.

Característica	Item confirmado no estudo?
Possui parâmetros suficientes e representativos para avaliação da qualidade/quantidade de água (+). - Autor, 2020.	Sim. Os indicadores são definidos pelo pesquisador, de modo que é possível contemplar os recursos hídricos de acordo com os objetivos definidos para a pesquisa.

Fonte: Autor, 2010.

Quadro 5.3 - Barômetro da Sustentabilidade: Aplicabilidade ao estudo

Característica	Item confirmado no estudo?
Cálculos de baixa a moderada complexidade (+). - Van Bellen, 2002; Hardi & Barg, 1997; Prestes, Garcia, Lima, 2012.	Sim. Metodologia de cálculo com complexidade média.
Resultados são de fácil entendimento (+). - Hardi & Barg, 1997; Van Bellen, 2002.	Sim. Resultados dispostos graficamente.
Trabalha de forma holística, considerando aspectos ambientais e humanos (+). - Hardi & Barg, 1997; Froehlich, 2014.	Sim. Indicadores distribuídos de forma facilitada nas categorias ecológica e humana.
Possui capacidade de agregar indicadores utilizando dados por vezes contraditórios (+). - Froehlich, 2014.	Sim. Ferramenta processa dados ambíguos de forma equilibrada, sem ocasionar grandes impactos nos resultados.
Possibilita aos atores envolvidos determinarem o nível de sustentabilidade desejável por meio da seleção dos indicadores e dos valores extremos das escalas (+). - Lucena, Cavalcanti, Cândido, 2011.	Sim. A seleção dos indicadores e escalas de valoração estão a cargo dos pesquisadores.
Incorpora valores da sociedade para determinação da sustentabilidade (+). - Hardi & Barg, 1997.	Parcialmente. Embora os autores recomendem participação de todos os atores envolvidos no processo de seleção de indicadores e definição da escala de desempenho, esta tarefa requer muito tempo e recursos, de forma a não ser empregada, em termos gerais, nos estudos envolvendo a ferramenta.
Permite comparar condições socioeconômicas e do ambiente fisicobiótico (+). - Kronemberger et al., 2008.	Sim. A distribuição simplificada das variáveis nas dimensões ecológica e humana facilita a comparação de variáveis de diferentes grupos.
Facilita a percepção de que ações devem ser integradas (+). - Kronemberger et al., 2008.	Sim. O número restrito de dimensões propicia a percepção de integração entre fatores humanos e ambientais.
A ponderação dos indicadores e escalas de performance estão sob critérios do pesquisador (-). - Hardi & Barg, 1997.	Sim. Este processo tende a apresentar alto nível de subjetividade, podendo comprometer o processo de avaliação da sustentabilidade.
Carece de critérios cientificamente compartilhados (-). - Hardi & Barg, 1997.	Parcialmente. Processos de avaliação de sustentabilidade tendem a apresentar critérios científicos afetos à área de estudo e maior experiência dos pesquisadores.
Resultados influenciam pouco a sociedade em direção à mudança (-). - Van Bellen, 2002.	Não. A ferramenta dispõe de metodologia clara e resultados gráficos de fácil interpretação, requerendo maior dispensa à sensibilização da comunidade envolvida.
Possui parâmetros suficientes e representativos para avaliação da qualidade/quantidade de água (+). - Autor, 2020.	Sim. Os indicadores são definidos pelo pesquisador, de modo que é possível contemplar os recursos hídricos de acordo com os objetivos definidos para a pesquisa.

Fonte: Autor, 2020.

Quadro 5.4 - WSI: Aplicabilidade ao estudo

Característica	Item confirmado no estudo?
Flexibilidade (+). - Debels et al., 2008.	Parcialmente. Os autores estabeleceram 15 variáveis, não há menção de adaptabilidade na metodologia, embora tenham sido observadas em alguns estudos.
Dados disponíveis e de fácil acesso (+). - Mititelu-Ionuș, 2017.	Sim. Seleção de dados de alta disponibilidade e confiabilidade.
Simple e inteligível (+). - Mititelu-Ionuș, 2017.	Sim. Metodologia muito clara, simples replicação.
Uso de indicadores relevantes (+). - Mititelu-Ionuș, 2017.	Sim. Embora restrito, utiliza indicadores de relevância para as dimensões de sustentabilidade.

Característica	Item confirmado no estudo?
Genérico (-). - Autor, 2020.	Sim. O uso de indicadores pré-definidos dificulta a identificação de problemas socioambientais endêmicos.
Possui parâmetros suficientes e representativos para avaliação da qualidade/quantidade de água (+). - Autor, 2020.	Sim. Os indicadores, apesar de serem pré-definidos pelos autores, contemplam um escoto geral de aspectos qualitativos e quantitativos relacionados aos recursos hídricos.

Fonte: Autor, 2020.

Conforme indicado nos quadros acima, de modo geral, as análises da aplicabilidade das ferramentas PE, PS, BS e WSI na sub-bacia do Ribeirão Onça mostraram-se coerentes e confirmaram os elementos característicos descritos na literatura. Itens divergentes ou confirmados parcialmente podem estar relacionados ao fato de boa parte da literatura consultada estar vinculada a estudos de cunho teórico, demais consultas, relacionadas a estudos de caso, também tendem a apresentar pequenas divergências devido às peculiaridades de cada região avaliada.

Ainda no contexto de aplicabilidade das ferramentas à delimitação de bacias hidrográficas, ressaltam-se as características metodológicas da Pegada Ecológica, que diferentemente das demais aplicadas neste estudo, não dispõe de elementos para mensurar de forma objetiva a sustentabilidade estritamente relacionada aos recursos hídricos. Em contrapartida, ela se mostrou capaz de identificar e mensurar aspectos que exercem maior pressão sobre os recursos naturais locais, aspecto de extrema relevância para gestão socioambiental de bacias hidrográficas.

Uma forma expedita e simplificada de verificar se determinados aspectos e problemas socioambientais foram identificados corretamente e denotaram nível de importância junto aos atores envolvidos é realizar um levantamento de programas temáticos específicos e os respectivos valores orçados para sua implementação.

O PDRH-Velhas dispõe de um Plano de Ações para a sub-bacia do Ribeirão Onça composto por 42 programas, distribuídos em oito planos. O orçamento é de R\$ 16.200.540,62 (100%) para o período 2015-2030: Saneamento Ambiental (43,28%), Conservação Ambiental (17,09%), Educação Ambiental, Comunicação e Mobilização Social (10,82%), Gestão da Oferta de Água (10,52%), Gestão (9,57%), Instrumentos de Gestão (5,81%), Mineração e Atividades Industriais (2,58%) e Manejo de Recursos Hídricos em Área Rural (0,32%).

O Quadro 5.5 busca correlacionar alguns dos aspectos socioambientais identificados por meio da aplicação das ferramentas PE, PS, BS e WSI aos programas do PDRH-Velhas direcionados à área de estudo com orçamento superior ou próximo de R\$ 100.000,00:

Quadro 5.5 - Correlação: Programas Socioambientais x Aspectos identificados

Programa	Orçamento (R\$)	Aspectos com possível correlação (ferramenta)
Drenagem Urbana	3.666.666,67	Ocorrências motivadas por eventos naturais (PS, BS); Baixa qualidade dos recursos hídricos (PS, BS, WSI); DBO (PS, BS, WSI).
Educação Ambiental, Comunicação e Mobilização Social.	1.729.729,73	IDH Educação (BS); Índice de Vulnerabilidade Social (PS, BS); Internet (PS, BS); Participação feminina na política (PS, BS); Taxa de reciclagem (PS, BS).
Esgotamento Sanitário	1.708.333,33	Baixa qualidade dos recursos hídricos (PS, BS, WSI); DBO (PS, BS, WSI).
Resíduos Sólidos	1.230.000,00	Bom nível de gestão/gerenciamento (PS, BS): necessidade de manutenção; Emissão de gases de efeito estufa (PE).
Recomposição de APP's	1.220.618,56	Perda de vegetação (PS, BS); Necessidade de áreas de vegetação para absorção de CO ₂ (PE); DBO (PS, BS, WSI).
Proteção de Áreas para Conservação	890.721,65	Perda de vegetação (PS, BS); Necessidade de áreas de vegetação para absorção de CO ₂ (PE).
Fortalecimento Institucional	778.378,38	Base institucional de gestão socioambiental (PS, BS, WSI).
Gerenciamento Água Subterrâneas	659.673,66	Baixa qualidade dos recursos hídricos (PS, BS, WSI); Risco de disponibilidade hídrica (PS, BS, WSI).
Planos de Recuperação Hidroambiental	547.008,55	Baixa qualidade dos recursos hídricos (PS, BS, WSI); Risco de disponibilidade hídrica (PS, BS, WSI).
Sistema de Informações	467.174,87	Baixa qualidade dos recursos hídricos (PS, BS, WSI); Risco de disponibilidade hídrica (PS, BS, WSI); Internet (PS, BS); Base institucional de gestão socioambiental (PS, BS, WSI).
Monitoramento	348.476,62	Baixa qualidade dos recursos hídricos (PS, BS, WSI).
Reservação e Infiltração Local	342.857,14	Risco de disponibilidade hídrica (PS, BS, WSI); Ocorrências motivadas por eventos naturais (PS, BS).
Estudos Estratégicos	328.205,13	Base institucional de gestão socioambiental (PS, BS, WSI).
Planos de Saneamento	308.000,00	Baixa qualidade dos recursos hídricos (PS, BS, WSI); Risco de disponibilidade hídrica (PS, BS, WSI).
Revisão do Plano	288.288,29	Base institucional de gestão socioambiental (PS, BS, WSI).
Sistema de Alerta	285.128,21	Ocorrências motivadas por eventos naturais (PS, BS).
Desenvolvimento da Agência de Bacia	230.630,63	Base institucional de gestão socioambiental (PS, BS, WSI).
Recuperação de Áreas Degradadas	191.637,63	Perda de vegetação (PS, BS).
Uso Racional da Água na Indústria	164.705,88	Perdas de água na distribuição (PS, BS); Risco de disponibilidade hídrica (PS, BS, WSI).
Outorga	102.564,10	Risco de disponibilidade hídrica (PS, BS, WSI).
Abastecimento de Água	98.000,00	Risco de disponibilidade hídrica (PS, BS, WSI).

Fonte: Autor, 2020.

A análise sucinta dos aspectos de correlação entre programas socioambientais e nuances identificadas pelas ferramentas obviamente não correspondem a fatos reais e irrefutáveis, uma vez que não foram realizadas confrontação das informações e contatos com as entidades de gestão correlatas à área de estudo. Em contrapartida, os elementos dispostos neste tópico fornecem indícios de que o uso dos métodos PE, PS, BS e WSI tem bom potencial de aplicação e capacidade de disponibilizar análises dos níveis de sustentabilidade locais com efetiva

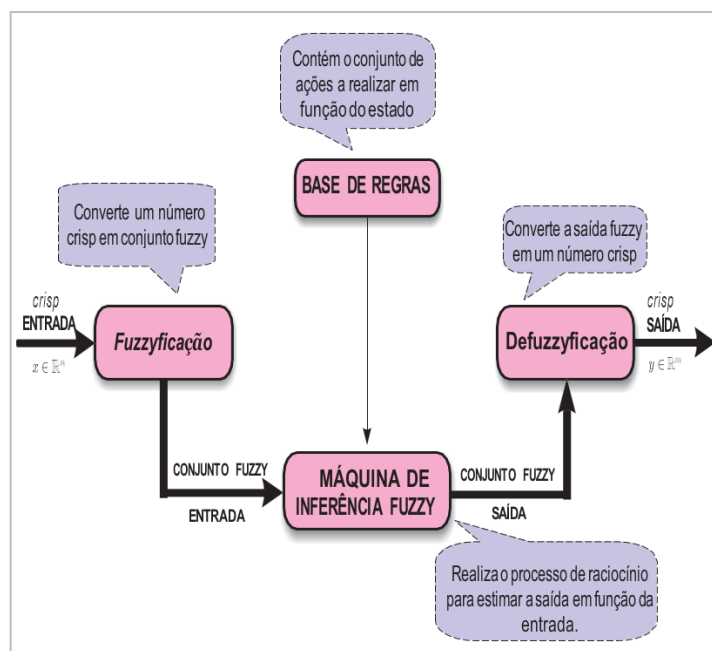
identificação dos principais problemas ambientais, econômicos e sociais afetos à delimitação de bacias hidrográficas, em especial, a sub-bacia do Ribeirão Onça.

5.2 Tópico Especial: Aplicabilidade e Uso da Inteligência Artificial na Avaliação da Sustentabilidade da Sub-bacia do Ribeirão Onça

Embora não esteja inicialmente contemplada no escopo e objetivos desta pesquisa, o uso de técnicas de Inteligência Artificial (IA) tem sido amplamente difundido nas diversas esferas de conhecimento, propiciando grandes contribuições para o avanço da ciência e resolução de problemas complexos. A IA pode ser entendida como a automatização de atividades que associamos ao pensamento humano, tais como a tomada de decisões (BELLMAN, 1978). Um sistema de IA é composto por três componentes principais: representação, raciocínio e aprendizagem. Neste contexto, a IA deve ter capacidade de: (1) armazenar conhecimento; (2) aplicar o conhecimento armazenado para solucionar problemas; (3) adquirir novos conhecimentos por meio de experiências (RUSSELL *et al.*, 2013).

Em meio às diversas técnicas de IA aplicáveis e com grande potencial de auxílio na mensuração do nível de sustentabilidade, a título de experimentação complementar, nesta etapa da pesquisa optou-se por selecionar a Lógica *Fuzzy* para avaliar o nível de sustentabilidade da sub-bacia do Ribeirão Onça. Esta metodologia foi escolhida por sua potencialidade em modelar e tratar incertezas (LIMA *et al.*, 2007).

Criada na década de 1930 por Jan Lukasiewicz, a Lógica *Fuzzy* foi contemplada com o intuito de verificar o nível de veracidade de uma proposição por meio da atribuição de valores qualitativos (ex: alto, médio, baixo) a um intervalo numérico [0, 1]. Com base nesta metodologia, em 1965 Lotfi Zadeh desenvolveu a Teoria dos Conjuntos *Fuzzy*, na qual os conjuntos de dados não possuem fronteiras bem definidas, e, a partir de suas inter-relações, são processados para inferir informação de determinado objeto/fenômeno (MARRO *et al.*, 2013). A Figura 4.14 apresenta os componentes e fluxo básico de um sistema baseado em regras *fuzzy*. O termo *fuzzy/fuzzyficação* pode ser entendido como a conversão de valores numéricos (“80”) em dados qualitativos (“bom”), *defuzzyficação* refere-se ao inverso, *crisp* um valor numérico de entrada ou saída.

Figura 5.1 - Metodologia *Fuzzy*: Fluxograma Representativo

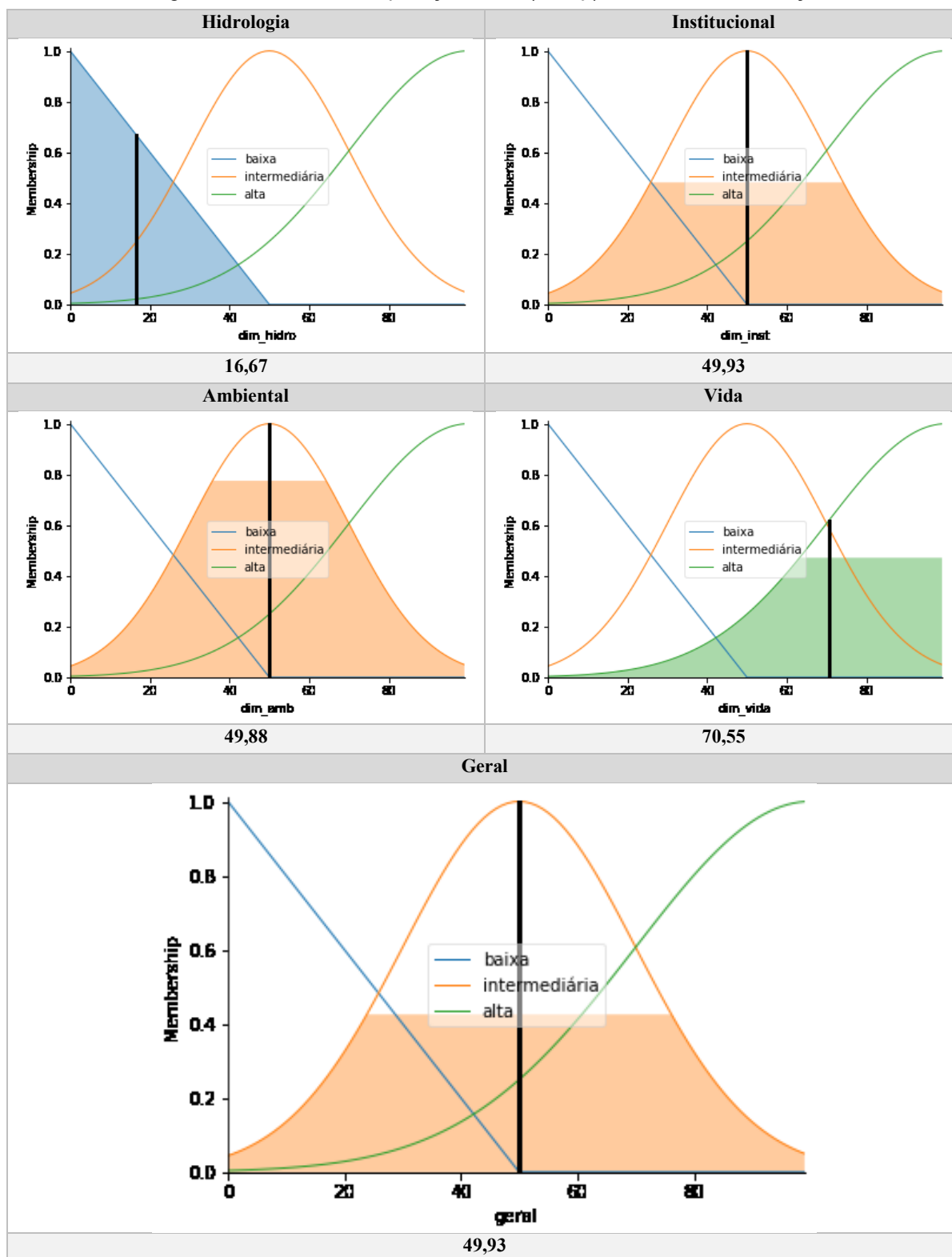
Fonte: Adaptado de Cabrera, 2014.

Na Lógica *Fuzzy* a observação de certa variável tem como resultado a indicação de um conjunto que melhor a representa, aspecto determinado pela função de pertinência, que indica o nível de veracidade/pertencimento da variável ao grupo/conjunto. Funções de pertinência são funções matemáticas subjetivamente associadas às variáveis por especialistas no tema avaliado. As etapas básicas que compõem um sistema *fuzzy* são: 1) inserção dos valores linguísticos observados; 2) processamento da inferência *fuzzy*; 3) *defuzzyficação* do conjunto *fuzzy* de saída em valor numérico; 4) conversão de observações imprecisas de entrada em dados/informações para tomada de decisão na saída (valor *defuzzyficado*) (JANG; SUN; MIZUNAMI, 1997).

Para avaliar a sustentabilidade da sub-bacia do Ribeirão Onça foi construído um algoritmo com base metodológica *Fuzzy*, codificado e processado sob a linguagem de programação *Python*, versão 3.7. A técnica *Fuzzy* requer que os dados de variáveis de entrada estejam normalizados, por tanto, nesta experiência foram utilizadas as 29 variáveis empregadas na aplicação do método Barômetro da Sustentabilidade (normalizadas). As funções de pertinência aplicadas foram a **triangular**, para as variáveis de entrada, e a **gaussiana**, para variáveis de saída (resultados de dimensões e geral). As dimensões de avaliação utilizadas foram as referenciadas no WSI: Hidrologia, Ambiental, Institucional e Vida. A escala de valoração adotada considerou um intervalo regular [0, 100]: baixa (<34), intermediária ($34 \leq \text{WSI} \leq 66$) e alta (> 66).

Os resultados da avaliação das dimensões da sustentabilidade e geral da sub-bacia do Ribeirão Onça são apresentados na Figura 4.15.

Figura 5.2 - Resultado: Aplicação de IA (Fuzzy) na Sub-bacia do Onça



Fonte: Autor, 2020.

A dimensão Hidrologia registrou o pior nível de sustentabilidade, 16,67, baixa. As dimensões Institucional e Ambiental registraram nível intermediário de sustentabilidade, com pontuação 49,93 e 49,88, respectivamente. A dimensão Vida apresentou o melhor nível de sustentabilidade, 70,55, alta. O nível de sustentabilidade geral registrou, 49,93 pontos, caracterizado como intermediário. Apesar de nesta experiência não terem sido utilizados algoritmos robustos e do fato de o tratamento de dados e funções de pertinência terem sido aplicados de forma incipiente, os resultados obtidos mostraram-se coerentes às avaliações de sustentabilidade calculadas pelos métodos PS, BS e WSI, que classificaram a região como nível intermediário de sustentabilidade.

Os resultados acima elencados ratificam o potencial do uso da IA em diagnósticos socioambientais e processos de tomada de decisão relacionados à sustentabilidade.

5.3 Limitações, Tendências e Recomendações

Limitações

Pesquisas relacionadas à mensuração da sustentabilidade sempre carregam elevado nível de subjetividade, fator este derivado das diferentes concepções que circundam o termo sustentável, bem como as variadas interpretações do tema pelas partes interessadas. De modo complementar, a definição dos objetivos de pesquisa e respectiva seleção de indicadores delimitam o escopo do estudo, que, aplicado à área de interesse, irá galgar características únicas. Sob este aspecto, trabalhos envolvendo o tema sempre estarão sujeitos a críticas e questionamentos metodológicos, o que de fato não deve torná-los inválidos, mas sim fornecer elementos científicos e empíricos que permitam a evolução das discussões sobre sustentabilidade e desenvolvimento sustentável.

De modo peculiar, ao definir como área de estudo uma bacia hidrográfica, esta pesquisa inseriu novos fatores de incerteza, uma vez que a quantidade de estudos direcionadas à avaliação da sustentabilidade nesta delimitação territorial é, ainda, muito restrita. Uma das dificuldades encontradas se deve ao fato de haver poucos dados socioeconômicos delineados para bacias hidrográficas, de modo que parte de dados desta natureza tiveram que ser calculados/estimados por meio de média ponderada com base em dados dos municípios que compõem a sub-bacia do Ribeirão Onça. Outra questão limitante deste estudo está relacionada à ausência de alguns tipos

de dados, mesmo se tratando de área metropolitana bem estruturada (RMBH), situação que impediu/limitou o uso de alguns indicadores importantes.

A classificação dos indicadores selecionados em dimensões de sustentabilidade específicas também é aspecto de críticas, dada a subjetividade, alguns indicadores podem ser enquadrados em mais de uma dimensão (não simultaneamente), tal como a taxa de reciclagem, que pode ser avaliada sob a dimensão institucional ou ambiental. Este aspecto tende a se refletir nos resultados de avaliação individual das dimensões, contudo, os resultados de avaliação global dos métodos normalmente não são alterados, tendo em vista que a maior parte utiliza média aritmética para cômputo.

Outro fator de restrição comum é a ausência de consulta e participação da comunidade local no processo de seleção de indicadores, alguns métodos, PS e BS, por exemplo, sugerem que os agentes envolvidos no processo de avaliação da sustentabilidade participem ativamente desta etapa, prática não exercida nesta pesquisa. Contudo, de forma geral, esta prática se mostrou inexequível nos trabalhos e referências abordados neste estudo, de modo que pesquisas em nível de mestrado não a contemplaram, e em nível de doutorado foi contemplada parcialmente, sob forma de consulta por meio de metodologia DELPHI. Este aspecto, no entanto, não comprometeu os resultados de avaliação obtidos na literatura consultada, ressalva-se a necessidade de prover mecanismos de consulta e participação comunitária em sistemas de avaliação com nível adiantado de amadurecimento, chancelados por agentes com poder decisão e com grande potencial para implantação.

Ademais, observou-se no decorrer desta pesquisa (por meio da análise de dezenas de métodos de mensuração da sustentabilidade) que a utilização de indicadores biológicos não é aplicada com frequência em índices de sustentabilidade. Este fator não denota depreciação dos aspectos biológicos, o uso restrito destes indicadores tem maior relação com a complexidade de obtenção e processamento de dados, além da dificuldade de monitoramento e manutenção em médio e longo prazo de variáveis do meio biótico. Neste sentido, a maioria dos autores optou por trabalhar com indicadores que fazem inferência indireta aos elementos do meio biótico, o uso da vegetação (área) e presença de determinadas espécies de peixe, por exemplo, são frequentemente utilizados para representar aspectos bióticos.

Os elementos acima mencionados têm potencial para ampliar o nível de incerteza quanto aos resultados e análises apresentados nesta pesquisa, motivo pelo qual este estudo deve ser avaliado e interpretado como informação complementar, com o intuito estrito de fornecer elementos que propiciem identificar de forma primária o nível de sustentabilidade da sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Onça e subsidiar discussões acerca do tema apresentado.

Tendências

A amplitude das referências consultadas para o desenvolvimento desta pesquisa permitiu identificar algumas tendências quanto à produção técnica e acadêmica relacionada à sustentabilidade:

- Ampliação e desenvolvimento de mecanismos internacionais de certificação da sustentabilidade. Destaque para a ISO 37.120/2014, desenvolvida pelo *World Council on City Data* (WCCD), avalia e certifica cidades entre cinco níveis de sustentabilidade, os resultados são registrados no *Global Cities Registry TM*. Outra relevante tendência se refere à incorporação dos ODS e princípios da Agenda 2030 aos planos oficiais de gestão e estratégia das cidades, sendo Belo Horizonte e Contagem uma boa referência.
- Agregação do tema sustentabilidade ao conceito de Cidade Inteligente. Cidade Inteligente é uma abordagem que recentemente tem angariado recursos e fundamentos que visam lograr o desenvolvimento sustentável incorporando ao tema os avanços tecnológicos, especialmente conectividade e uso da inteligência artificial. “Cidades inteligentes têm foco em um modelo particularizado, com visão moderna do desenvolvimento urbano e que reconhecem a crescente importância das tecnologias da informação e comunicação no direcionamento da competitividade econômica, sustentabilidade ambiental e qualidade de vida geral” (DUTTA & MIA, 2011).
- Uso da Inteligência Artificial (IA) para mensurar a sustentabilidade. Em 2012, Ma utilizou uma técnica de IA denominada *Support Vector Machine* (SVM) para determinar a Pegada Ecológica de 24 países com grande performance e assertividade. Quinhoneiro (2015) utilizou a técnica *Fuzzy* para desenvolver uma metodologia de análise de indicadores de sustentabilidade como ferramenta para tomada de decisão.

- Os métodos de avaliação da sustentabilidade tendem a se tornar mais robustos nos próximos anos devido à maior disponibilidade de dados governamentais e não governamentais, fator decorrente de melhorias tecnológicas e de gestão.

Recomendações

Replicação do Estudo em Outras Bacias Hidrográficas

Identificado o potencial das ferramentas de mensuração da sustentabilidade aplicadas nesta pesquisa, a recomendação inicial aqui proposta se refere à replicação dos métodos utilizados em outras bacias hidrográficas localizadas em regiões metropolitanas brasileiras, *a priori*, nas regiões com maior volume de dados e alta disponibilidade. A aplicação na sub-bacia do Ribeirão Arrudas seria uma escolha natural e de rápidos resultados, o fato de comportar os mesmos municípios e fazer fronteira com a sub-bacia do Onça sugere que o nível de sustentabilidade deve ser similar ao obtido neste estudo, uma vez que dados socioeconômicos são comuns, ficando a cargo das possíveis divergências de resultados as características geoambientais e hidrológicas locais.

Ampliação da Pesquisa sobre Sustentabilidade no DESA

O tema sustentabilidade não tem demonstrado grande espectro de discussão e pesquisa no DESA (Dep. Engenharia Sanitária e Ambiental) da UFMG, ao passo que um número restrito de trabalhos do Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos o tem como objeto direto de produção acadêmica. Em curto prazo, sugere-se avaliar a criação de uma linha de pesquisa galgada à sustentabilidade. Outras opções passíveis de análise futura, com perspectivas de médio e longo prazo, seriam a criação de um programa de pós-graduação específico, a exemplo do Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade Socioeconômica Ambiental da UFOP (Universidade Federal de Ouro Preto) e a criação de um centro de pesquisa temático, tal qual dispõe a UnB (Universidade de Brasília).

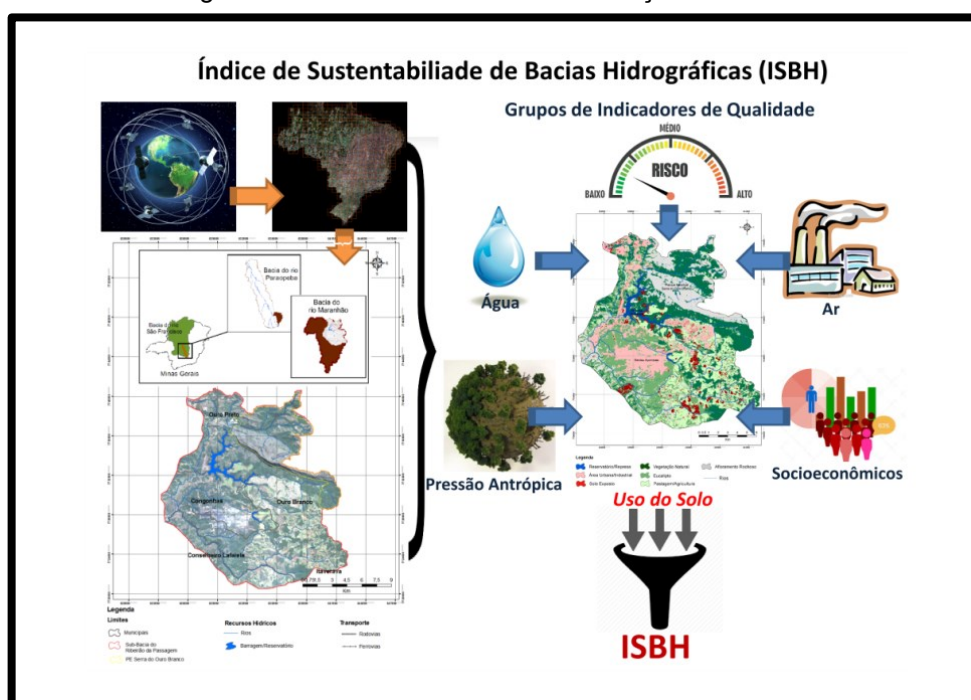
Nova Metodologia de Mensuração da Sustentabilidade Utilizando Técnicas de Inteligência Artificial (IA)

O campo de pesquisas relacionadas ao uso da IA aplicado a índices de sustentabilidade encontra-se em expansão, ao passo que há grande potencial para desenvolvimento de novas metodologias. Propõe-se aqui o desenvolvimento de um sistema computacional baseado em

técnicas de Inteligência Artificial (IA) e Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) para determinação do Índice de Sustentabilidade de Bacias Hidrográficas (ISBHID).

O ISBH deverá propiciar o monitoramento da composição florestal, uso e ocupação do solo e verificação do nível de sustentabilidade de bacias hidrográficas. A base de cálculo do ISBHID está estruturada em análises multivariadas de indicadores ambientais, socioeconômicos, riscos e nível de pressão antrópica. Dentre as vantagens, a ferramenta tem potencial efetivo para dinamizar a capacidade produtiva de órgãos e entidades afetos à gestão ambiental, incrementando eficiência e informações, em quantidade e qualidade, suficientes para auxiliar nos processos de tomadas de decisão complexos e multidisciplinares, bem como propiciar o fomento de políticas e práticas voltadas à conservação e/ou recuperação de bacias hidrográficas. O fluxo básico para determinação do ISBHID é apresentado na Figura 5.3.

Figura 5.3 - Fluxo Básico de Determinação do ISBHID



Fonte: Autor, 2020.

Para cômputo do ISBHID, alguns requisitos deverão ser observados: i) serão utilizadas técnicas de programação (algoritmos de inteligência artificial) e geoprocessamento; ii) a unidade territorial base deverá ser delimitada por bacias hidrográficas com áreas relativamente pequenas (até 250 km², obtidas por imagens de satélite); iii) serão processados dados relacionados à qualidade do ar, água, nível de pressão antrópica (desmatamentos), riscos (incêndio, enchentes

etc.) e indicadores socioeconômicos; iv) os grupos de indicadores e parâmetros serão processados de modo a contemplar as classes de uso e ocupação do solo vigentes na bacia; v) serão utilizadas fontes de dados secundárias (BID, BIRD, UNESCO, IBGE, IPEA, IGAM, FEAM, IEF, EMBRAPA, dentre outros) de alta confiabilidade/disponibilidade para seleção e validação dos indicadores; vi) o processamento de imagens de satélite fornecerá dados e informações para composição dos indicadores não disponíveis nas fontes oficiais (dados primários: riscos, uso do solo etc.).

Os indicadores selecionados para compor a base cálculo do ISBHID serão avaliados e mensurados de acordo com suas características e contribuição para a conservação/sustentabilidade da bacia hidrográfica, sendo-lhes atribuído um valor de 0 (baixa contribuição para sustentabilidade) a 1 (alta contribuição para sustentabilidade). A distribuição dos indicadores ocorrerá entre as classes: Indicadores de Qualidade e Quantidade da Água; Indicadores de Qualidade do Ar; Indicadores de Uso e Ocupação do Solo; Indicadores Socioeconômicos; Nível de Pressão Antrópica; Riscos e Fragilidades. Por fim, as variáveis serão processadas por algoritmos de IA fornecendo como resultado objetivo o ISBHID (Índice de Sustentabilidade de Bacias Hidrográficas), variando entre 0 (baixo nível de sustentabilidade) e 1 (nível de sustentabilidade máximo), Quadro 5.6:

Quadro 5.6 - ISBHID: Valores de Referência

ISBH	DESCRIÇÃO	SUSTENTABILIDADE
$\leq 0,10$	Nível de sustentabilidade mínimo: degradação sem retorno, impossível de recomposição de quaisquer ordens, com perdas irreparáveis para o território e sistemas naturais na escala de tempo humana.	BAIXA
$0,10 < \text{ISBH} \leq 0,20$	Baixo nível de sustentabilidade: degradação efetiva com modificação da paisagem local; exigência de intervenção corretiva para interromper o processo ou recuperar o ambiente em áreas críticas, grave estágio de dispersão de poluentes.	BAIXA a MÉDIA
$0,20 < \text{ISBH} \leq 0,50$	Nível de sustentabilidade razoavelmente superior à condição baixa a média: necessidade de intervenções medianas e ações de reocupação dos solos.	MÉDIA INFERIOR
$0,50 < \text{ISBH} \leq 0,65$	Nível de sustentabilidade intermediário: exige intervenções medianas e ações diversas para interrupção do processo de degradação.	MÉDIA SUPERIOR
$0,65 < \text{ISBH} \leq 0,85$	Bom nível de sustentabilidade: boa capacidade de reconstrução; requer ações de mitigação em áreas específicas.	SUPERIOR
$> 0,85$	Alto nível de sustentabilidade: ambiente dispõe de excelente capacidade de recuperação; ações simplificadas permitem reconstrução e/ou de mitigação.	MÁXIMA

Fonte: Adaptado de Martins Jr., 2013.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso dos métodos Pegada Ecológica (PE), Painel da Sustentabilidade (PS), Barômetro da Sustentabilidade (BS) e *Watershed Sustainability Index* (WSI) propiciou uma intensificação e/ou aprofundamento dos processos de mensuração da sustentabilidade da sub-bacia do Ribeirão Onça (período 2010-2014), cujos resultados das avaliações foram: **PE**, déficit ecológico (não sustentável); **PS**, nível médio de sustentabilidade; **BS**, nível intermediário de sustentabilidade; **WSI**, nível intermediário de sustentabilidade. Com exceção da PE, que tem direcionamento para o consumo, os níveis de sustentabilidade globais mensurados foram classificados como médio/intermediário, mostrando-se compatíveis. Ademais, os métodos PS, BS e WSI foram efetivos na identificação das melhorias das perspectivas socioeconômicas na região e dos problemas mais críticos, especialmente recursos hídricos (qualidade/poluição), elemento caracterizado como item mais relevante por ambos.

Os métodos PE, PS, BS e WSI apresentam diferentes abordagens, fundamentações teóricas e empíricas divergentes, motivos pelos quais foram observadas pequenas diferenças entre os resultados das avaliações da sustentabilidade e níveis de sensibilidade distintos no que tange à identificação dos itens de maior e menor impacto, especificamente nas análises de variáveis e dimensões. Os elementos mais críticos (c) e robustos (r) identificados por cada método foram (c/r): **PE**, c: Gasolina / r: Floresta (área); **PS**, c: DBO, Gases de efeito estufa, Vegetação / r: Serviços de saneamento básico; **BS**, c: DBO, Disponibilidade hídrica, Reciclagem, Energia renovável (uso), Número de queimadas / r: Serviços de saneamento básico, Base institucional, Taxa de desemprego; **WSI**, c: DBO / r: Base institucional.

Sob este aspecto, os resultados obtidos pelos quatro métodos representam as características típicas de cada ferramenta e têm fortes indícios de complementariedade, de modo que o uso de determinado índice não exclui/invalida outro. Sendo assim, as ferramentas podem ser aplicadas de forma sequencial ou não, de acordo com os objetivos do pesquisador, tempo disponível para avaliação e complexidade. No contexto de avaliação da sustentabilidade da sub-bacia do Ribeirão Onça, a sequência de aplicação das ferramentas permitiu identificar elementos complementares: 1) **WSI**: item mais crítico (recursos hídricos, qualidade); 2) **PS**: nível de evolução da sustentabilidade local; 3) **BS**: nível da sustentabilidade local comparado a outros

padrões/localidades; 4) **PE**: fator de consumo que exerce maior pressão sobre recursos naturais (combustíveis fósseis, gasolina e diesel, e pecuária, consumo de carne).

Os resultados de avaliação obtidos pelos métodos mostraram-se plausíveis à realidade local, sendo que alguns dos aspectos socioambientais identificados por meio da aplicação do PE, PS, BS e WSI têm relação direta/indireta com programas socioambientais e seus respectivos orçamentos dispostos no diagnóstico e plano de ações do PDRH-Velhas (2015). De modo complementar, o PDRH-Velhas tem como prioridades de atuação na sub-bacia as Agendas Marrom (pressão antrópica em função da população) e Azul (quantidade e qualidade dos recursos hídricos), sendo as demandas relacionadas ao saneamento ambiental os fatores de maior pressão. Estes aspectos corroboram com os diagnósticos de sustentabilidade obtidos neste estudo.

Resultados alcançados na pesquisa ratificaram o bom nível de aplicabilidade de índices de sustentabilidade no diagnóstico de bacias hidrográficas, identificando padrões ambientais, sociais e econômicos que refletem de forma objetiva as complexas inter-relações entre elementos antrópicos e recursos naturais. A representatividade das análises evidenciou que as ferramentas utilizadas têm potencial para fornecer informações em qualidade e quantidade suficientes para auxiliar em processos de tomadas de decisão complexos e multidisciplinares, bem como prover diagnósticos socioambientais sintetizados, sendo que estes não substituem relatórios técnicos e pesquisas de maior amplitude, mas, de certa forma, os precedem. Ressalta-se ainda que a capacidade técnica e experiência do pesquisador, a qualidade dos dados disponíveis e a seleção da ferramenta conforme os objetivos do estudo são fatores críticos para o sucesso na aplicação dos índices e respectiva confiabilidade dos resultados.

Ainda que os métodos PE, PS, BS e WSI tenham apresentado bom nível de aplicação e diagnósticos compatíveis com a realidade local, há uma série de lacunas a serem preenchidas sob a delimitação geográfica de bacias hidrográficas, de modo que torna-se necessário ampliar a discussão sobre as fragilidades e potencialidades das ferramentas de mensuração da sustentabilidade selecionadas neste escopo territorial, bem como replicar o estudo em outras bacias hidrográficas urbanas para melhor verificação. Estes fatores corroboram com o cenário de que o campo de pesquisas relacionadas a índices de sustentabilidade encontra-se em estágio de maturação incipiente, ao passo que há grande potencial para desenvolvimento de novas metodologias, nas quais o uso da Inteligência Artificial (IA) será fundamental para mensurar

os níveis de sustentabilidade de forma mais rápida, abrangente e precisa. Esta tendência foi experimentada nesta pesquisa por meio da aplicação do método *Fuzzy*, que classificou a região como nível intermediário de sustentabilidade, coerente aos métodos PS, BS e WSI.

De forma geral, os resultados de avaliação da sustentabilidade e análises decorrentes desta pesquisa permitiram verificar as hipóteses delineadas especificamente para a sub-bacia do Ribeirão Onça: os métodos de avaliação da sustentabilidade aplicados apresentam fundamentação científica e critérios diferenciados, contudo, níveis de avaliação geral compatíveis; os métodos aplicados têm lacunas empíricas e científicas a serem preenchidas, sendo fundamental aprimorar e desenvolver novas ferramentas; os métodos utilizados auxiliam em processos de diagnóstico socioambiental e tomada de decisão complexos.

Há de se ressaltar que a aplicação de índices de sustentabilidade carrega elevado nível de subjetividade, de modo que cada método expressa a simplificação de uma realidade complexa em diferentes perspectivas, motivo pelo qual determinado modelo adotado deve ser avaliado de acordo com sua capacidade em atingir objetivos definidos na pesquisa. Ao utilizar índices o pesquisador deve consentir que a finalidade e utilidade maximizadas desta ferramenta não está em fornecer diagnósticos complexos de um objeto/fenômeno, mas em disponibilizar informações relevantes, com capacidade de sinalizar o estado atual e tendências, no sentido em que permitam orientar intervenções para alcançar objetivos. Sob este aspecto, as ferramentas empregadas neste estudo atenderam de modo satisfatório aos objetivos definidos na pesquisa.

Os altos padrões atuais de consumo e as respectivas mazelas socioambientais decorrentes de ações antrópicas e mudança climática evidenciam a ausência de equilíbrio entre as questões ambientais, sociais e econômicas, insustentabilidade deflagrada que tende a colocar em risco as futuras gerações. Neste amplo contexto, torna-se relevante e urgente a discussão sobre o processo de construção de políticas socioambientais inclusivas e participativas. Retrocessos registrados em curto período de tempo podem levar décadas e muitos esforços conjuntos para serem relativizados. No Brasil, nefastas políticas socioambientais, aliadas ao desprezo à ciência e pesquisa adotados pelo governo federal, definharam a estrutura básica de gestão integrada de recursos naturais, esta que ainda se encontrava em estágios iniciais de maturação. Não por acaso, o país recebeu o prêmio *Colossal Fossil Award* ("fóssil do ano") em 2019, organizado pela *Climate Action Network* (CAN).

Investimentos em educação e pesquisa são os pilares para a transformação sociocultural e tecnológica que nos permitirão galgar a sustentabilidade, temas atualmente em descrédito no cenário nacional e que terão que ser priorizados para construção de um futuro sustentável.

REFERÊNCIAS

- ADH. ATLAS DE DESENVOLVIMENTO HUMANO/RADAR IDHM. Análise Geral da Tendência de Evolução do IDHM no Brasil. Disponível em: http://atlasbrasil.org.br/2013/data/rawData/RadarIDHM_Analise.pdf. Acesso em: 10 abr. 2019.
- AHSEB. ASSOCIAÇÃO DE HOSPITAIS E SERVIÇOS DE SAÚDE DO ESTADO DA BAHIA. Segundo OMS, ideal é ter de 3 a 5 leitos para cada mil habitantes. No Brasil, índice médio é de 2,4. 2014. Disponível em < <http://www.ahseb.com.br/segundo-oms-ideal-e-ter-de3-a-5-leitos-para-cada-mil-habitantes-no-brasil-indice-medio-e-de-24/> >. Acesso em: 02 out. 2019.
- ALMEIDA, S. C. C. Indicadores de Sustentabilidade: Análise da Aplicabilidade da NBR ISO 37120:2017 sob a Perspectiva da Engenharia Urbana. 2019. 119 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, campus São Carlos, São Carlos.
- ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Dados Abertos da Agência Nacional de Águas. Disponível em: <http://dadosabertos.ana.gov.br>. Acesso em: 13 abr. 2019.
- ANDRADE, B. B. Turismo e Sustentabilidade no Município de Florianópolis: uma Aplicação do Método da Pegada Ecológica. 2006. 152 f. Dissertação (Mestrado em Administração) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2006.
- ANDRADE, E. A.; FRANCESCHINI, M. C. T. O direito à cidade e as agendas urbanas internacionais: uma análise documental. *Ciênc. saúde coletiva*, Rio de Janeiro, v. 22, n. 12, p. 3849-3858, Dec. 2017.
- ANJOS, R. M.; UBALDO, A. A. B. O desporto como elemento indutor da sustentabilidade na sociedade de risco. In: SOUZA, Maria Cláudia da Silva Antunes de; ARMADA, Charles Alexandre. *Sustentabilidade, meio ambiente e sociedade: reflexões e perspectivas* [e-book]. Umuarama: Universidade Paranaense – UNIPAR, 2015.
- ANP. AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. Disponível em: anp.gov.br/dados-abertos-anp/vendas-derivados-petroleo-biocombustiveis. Acesso em: 01 dez. 2019.
- ANZECC & ARMCANZ 2000. Australian guidelines for water quality monitoring and reporting. National Water Quality Management Strategy Paper No 7, Australian and New Zealand Environment and Conservation Council & Agriculture and Resource Management Council of Australia and New Zealand, Canberra.
- BAHIA PULP S.A – Fábrica de Celulose. Publicação Eletrônica. 2008.
- BALL, R. O. & CHURCH, R. L. (1980). Water quality indexing and scoring. *Journal of the Environmental Engineering Division*, vol.106, p.757-771.
- BARBOSA, C. R. Índice de Sustentabilidade Ambiental no Município de Aruanã, Goiás, Calculado Com Base no Método Dashboard Of Sustainability: Uma Análise Multidisciplinar Voltada à Promoção do Desenvolvimento Sustentável. 2014. 102 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Exatas e da Terra) - Pontifícia Universidade Católica de Goiás, GOIÂNIA, 2014.

BAÑON GOMIS, A. J. Rethinking the Concept of Sustainability. *Business and Society Review*, v. 116, n. 2, p. 171-91, 2011.

BARCELLOS, F. C.; CARVALO, P. G. M. Os Objetivos de Desenvolvimento do Milênio – ODM: Uma avaliação crítica. *Sustentabilidade em Debate*, Brasília, v. 5, n. 3, p. 222-244, set/dez. 2014.

BARTER, N.; RUSSELL, S. Sustainable Development: 1987 to 2012 – Don't Be Naive, it's not about the Environment. In: 11TH AUSTRALASIAN CONFERENCE ON SOCIAL AND ENVIRONMENTAL ACCOUNTING RESEARCH (A-CSEAR). Proceedings... University of Wollongong, 2012. p. 1-18.

BELLMAN, R. E. An introduction to artificial intelligence - Can Computers Think? San Francisco: Boyd & Fraser Publishing Company, 1978.

BEVILACQUA, A. F.; RESCHILIAN, P. R. A Bacia Hidrográfica Como Unidade Territorial De Planejamento A Um Desenvolvimento Sustentável. In *Anais do 2º Simpósio “Experiências Em Gestão Dos Recursos Hídricos Por Bacia Hidrográfica”*. Atibaia, SP. 2010.

BHTRANS. EMPRESA DE TRANSPORTES E TRÂNSITO DE BELO HORIZONTE. Sistema de Informações da Mobilidade Urbana de Belo Horizonte (SisMob-BH). Quadros 100a/b/c - Dados abertos do SisMob-BH. 2000-2013. 2014.

BHTRANS. EMPRESA DE TRANSPORTES E TRÂNSITO DE BELO HORIZONTE. Balanço anual da mobilidade urbana de Belo Horizonte 2016 (ano base 2015). Belo Horizonte, 2016.

BID. Banco Interamericano de Desenvolvimento. Indicadores da Iniciativa Cidades Emergentes e Sustentáveis. Segunda edição do Anexo 2, 2013.

BOFF, L. Sustentabilidade: o que é, o que não é. 1. Ed. Petrópolis: Vozes, 2012. 200 p.

BOLLMANN, H. A.; MARQUES, D. da M. 2000. Bases para a estruturação de indicadores de qualidade de águas. *Revista Brasileira de recursos Hídricos*. v. 5, nº 1, Jan/mar, p. 37 – 60.

BORGES, F. Q. (2015). Sustentabilidade institucional no setor elétrico brasileiro. *Revista Pretexto*, 16(1), 23-35.

BOSSEL, H. Indicators for Sustainable Development: Theory, Method, Applications: A report to the Balaton Group. Winnipeg: IISD, 1999.

BOTELHO, R.G.M., SILVA, A.S., Bacia Hidrográfica e Qualidade Ambiental In: VITTE, Antônio Carlos, GUERRA, Antônio José Texeira. *Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil*. Ed: Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 2007.

BOTELHO, R.G.M. Planejamento Ambiental em microbacia. In. GUERRA, A.T. SILVA, A.S., BOTELHO, R.G.M. (org.) *Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999, p. 269-293.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de

14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166- 67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 25 mai 2012.

BRASIL. Resolução CONAMA 357 de 17 de março de 2005. Brasília, DF, 2005.

BRASIL. Política Nacional do Meio Ambiente. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/CCIVIL/LEIS/L6938.htm>

BRASIL. Resolução CONAMA nº 001 de 1986. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html>

BRASIL. Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9985.htm

BROWN, P.M.; MCCLELLAND, N.I.; DENINGER, R.A.; TOZER, R.G. A water quality index - do we dare? Water & Sewage Word, 1970. pp. 339-343.

BRÜSEKE, F. J. Desestruturação e desenvolvimento. In: VIOLA, E.; FERREIRA, L. C. (Org.). *Incertezas de sustentabilidade na globalização*. Campinas: Unicamp, 1996. p. 103-132.

CABRERA, N. (2014). Aplicação da extensão de Zadeh para conjuntos fuzzy do tipo 2 intervalar. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-Brasil.

CALLADO, A. L. C. (2010). Modelo de mensuração de sustentabilidade empresarial: uma aplicação em vinícolas localizadas na serra gaúcha. Tese de Doutorado, Centro de Estudos e Pesquisas em Agronegócios, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

CALORIO, C. M. 1997. Análise de sustentabilidade em estabelecimentos agrícolas familiares no vale do Guaporé- MT. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Agricultura, Universidade Federal de Mato Grosso, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária. Cuiabá, BR-MT.

CAMPOS, C.A.; RIBEIRO, F.R. (2007) Aplicação da ferramenta *Dashboard of Sustainability* no processo de avaliação do desenvolvimento sustentável na agricultura familiar. In: Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, 45., 2007, Londrina. *Anais*.

CANTER, L. W. 1998. Manual de evaluación de impacto ambiental: tecnicas para la elaboración de estudio de impacto. Trad. Ignacio Español Echaniz, Isabel del Castillo González, Mercedes Alós Cortés e Genoveva Álvarez –Villamil Bárcena. Traducido da 2ª ed. Em Inglês de Environmental Impact Assessment. Colômbia: McGRAW-HILL.

CARLETTO, D. L. A pegada ecológica da bacia hidrográfica do Rio Cachoeira – Joinville (SC): uma ferramenta para educação ambiental; orientadora Dra. Therezinha Maria Novais de Oliveira – Joinville: UNIVILLE, 2012.

CARMO, A. O. Pegada Ecológica: Possibilidades e Limitações a partir de sua Aplicação para a Cidade do Salvador-Ba. 2008. 170 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana) – Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia. Bahia, 2008.

CARVALHO, C. W. Avaliação do índice de desenvolvimento sustentável (IDS) no município de Goiânia/GO através do método do painel de sustentabilidade (Dashboard of Sustainability) [manuscrito] / Carlos William de Carvalho – 2012. 79 f.: il. Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2012.

CATALISA. Rede de Cooperação para a Sustentabilidade. 2003. Disponível em: <http://www.catalisa.org.br/content/view/30/59/>.

CATANO, N.; MARCHAND, M.; STALEY, S.; WANG, Y. Development and Validation of the Watershed Sustainability Index (WSI) for the Watershed of the Reventazón River. Commission for the Preservation and Management of the Watershed of the Reventazón River – COMCURE, 2009.

CASTILHOS, N. R. S. Índice de Performance da Sustentabilidade Municipal: uma nova proposta metodológica para a avaliação socioeconômica e ambiental dos municípios brasileiros. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Sustentável, do Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília - UnB. Brasília, DF.

CBMMG. CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE MINAS GERAIS - CBMMG. Dados de ocorrências motivadas por eventos naturais. Disponibilizado via Lei de Acesso à Informação. Acesso em: 20 jun. 2019.

CEMIG. COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. Dados de consume energético *per capita* e matriz energética da Região Metropolitana de Belo Horizonte. Disponibilizado via Lei de Acesso à Informação. Acesso em: 13 mai. 2019.

CENSO AGROPECUÁRIO. Referência: 2017. Indicadores Municipais. Disponível em: <https://mapasinterativos.ibge.gov.br/agrocompara/>. Acesso em: 11 dez. 2019

CECHETTI, L. O desenvolvimento sustentável no Rio Grande do Sul: um estudo do período 1997 a 2005 com base no dashboard of sustainability. 2009. 98 f. Dissertação (Mestrado em Economia do Desenvolvimento) - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

CIDIN, R.C.P.J.; SILVA, R.S. da. Pegada Ecológica: Instrumento de Avaliação dos Impactos Antrópicos no Meio Natural. Estudos Geográficos, Rio Claro, 2(1): 43-52, junho - 2004 (ISSN 1678—698X).

CHAMBERS, N.; SIMMONS, C.; WACKERNAGEL, M. (2000) *Sharing Nature's Interest: Ecological Footprints as an Indicator of Sustainability*. Londres: Earthscan

CHAVES, H. M.L. [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por hchaves@unb.br em 25 mai. 2019.

CHAVES, H.M.L.; ALIPAZ, S.; An Integrated Indicator for Basin Hydrology, Environment, Live, and Policy: The Watershed Sustainability Index. Water Resources Management. v. 21, n. 5, p 883- 895. 2007.

CHRISTOFOLETTI, A., Análise de Sistemas em Geografia. Ed. Hucitec, São Paulo, 1979.

COBB, C.W.; RIXFORD, C. Lessons learned from the history of social indicators. San Francisco, Redefining Progress, 1998.

COELHO, A. M. Proposta para um indicador global de avaliação de sustentabilidade ambiental de empreendimentos (IGSA). 2008. 182 f. Dissertação Mestre - Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias, Lisboa. Disponível em: <http://recil.grupolusofona.pt/bitstream/handle/10437/83/dissertacao_08_Final.pdf?sequence=1>. Acesso em: 08 ago. 2019.

CORRÊA, R. A. Índice de desenvolvimento sustentável do município de Foz do Iguaçu / Ricardo Antonio Corrêa. – Maringá, 2010. 139 f. : il., figs., tabs. Orientadora : Prof^ª. Dr^ª. Amalia Maria Goldberg Godoy. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, Programa de Pós-Graduação em Ciências Econômicas, 2010.

CNUMAD - CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO/CNUMAD 1992. *Agenda 21*. Senado Federal, Brasília, 1996. 591 pp.

COPASA. COMPANHIA DE SANEAMENTO DE MINAS GERAIS. Informações sobre ETEs. Disponível em: <http://www.copasa.com.br/wps/portal/internet>. Acesso em: 18 ago. 2019.

CORTÉS, A.E., OYARZÚN, R., KRETSCHMER, N., CHAVES, H., SOTO, G., SOTO, M., AMÉZAGA, J., OYARZÚN, J., RÖTTING, T., SEÑORET, M. AND MATURANA, H. Application of the Watershed Sustainability Index to the Elqui river basin, North-Central Chile. *Obras y Proyectos* nº 12, p. 57-69, 2012.

COUTO, E. A. Aplicação dos indicadores de desenvolvimento sustentável da norma ABNT NBR ISO 37120:2017 para a cidade do Rio de Janeiro e análise comparativa com cidades da América Latina/ Elisa de Almeida Couto. – Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2018. XX, 163 p., 2018.

CUNHA, S. B. Bacias Hidrográficas. In: CUNHA, S. B.; GERRA A. J. T. (Orgs.). *Geomorfologia do Brasil*. Rio de Janeiro: Editora Bertrand Brasil, p. 229 – 265. 2003.

DALCHIAVON, E. C.; BAÇO, F. M. B.; MELLO, G. R. Barômetro de Sustentabilidade Estadual: Uma Aplicação na Região Sul do Brasil. *Revista Gestão e Desenvolvimento*, Novo Hamburgo, v. 14, n. 1, p. 54-69, mar. 2017. ISSN 2446-6875.

DALKEY, N.; HELMER, O. An Experimental Application of the Delphi Method to the Use of Experts. *Management Science*, v.9, n. 3, p. 458-467, Apr. 1963.

DEBELS, P., SZLAFSZTEIN, C., ALDUNCE, P., NERI, C., CARVAJAL, Y., QUINTERO-ANGEL, M., CELIS, A., BEZANILLA, A. and MARTÍNEZ, D. (2008). IUPA: a tool for the evaluation of the general usefulness of practices for adaptation to climate change and variability. *Natural Hazards* 50 (2), 211 - 233

DEAT. The development and promotion of tourism in South Africa, White Paper, Government of South Africa, Department of Environmental Affairs and Tourism. Disponível em: <http://www.environment.gov.za>. Acesso em: 13 mar. 2019.

DEMPSEY, N.; BRAMLEY, G.; POWER, S.; CAROLINE BROWN, C. The Social Dimension of Sustainable Development: Defining Urban Social Sustainability. *Sustainable Development*, v. 19, n. 5, p. 289-300, 2011.

DGA (2000). Proposta para um Sistema de Indicadores de Desenvolvimento Sustentável. Direção Geral do Ambiente, Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território. Lisboa.

DIAS, G. F. Pegada ecológica e sustentabilidade humana. *As Dimensões Humanas das Alterações Globais – Um Estudo de Caso Brasileiro (Como o Metabolismo Ecossistêmico Urbano Contribui para as Alterações Ambientais Globais)*. São Paulo: Gaia, 2002.

DOUROJEANNI, A. La gestión del agua y las cuencas en América Latina. Rev. CEPAL 53: 11-127, 1994.

DUARTE, C. G. Planejamento e sustentabilidade: uma proposta de procedimentos com base na avaliação de sustentabilidade e sua aplicação para o caso do etanol de cana-de-açúcar no Plano Decenal de Expansão de Energia. 2013. Tese (doutorado em Ciências - Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, SP, 2013.

DUTTA, I. S.; MIA, I. The Global Information Technology Report 2010 – 2011. V. 24. Geneva: SRO- -Kundig, 2011.

ECONOMIC COMMISSION FOR LATIN AMERICA AND THE CARIBE – ECLAC. Management procedures for sustainable development (applicable to municipalities, micro-regions and river basins). Santiago, Chile: Environment and Development Division, ECLAC, 1997. 72 p.

ELKINGTON, J. Cannibals with Forks: The triple bottom line of 21st century business. Capstone: Oxford, 1997.

ENSSLIN, L.; MONTIBELLER NETO, G; NORONHA, S. MacDonald. *Apoio à Decisão - Metodologias para Estruturação de problemas e Avaliação Multicritério de Alternativas*. Florianópolis: Insular, 2001.

EVANS, A.; STREZOV, V.; EVANS, T. (2015) Measuring Tools for Quantifying Sustainable Development. *European Journal of Sustainable Development*, v. 4, n. 2, p. 291-300.

EEA. European Environment Agency. The European Environment – State and Outlook 2005, 2005.

EPE. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Arquivos dos fatores médios de emissão de CO₂ grid mês/ano. Disponível em: https://www.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/SEPED/clima/textogeral/emissao_corporativos.html. Acesso em: 14 set. 2019.

FABER, N.; JORNA, R.; VAN ENGELN, J. The sustainability of “sustainability”. A study into the conceptual foundations of the notion of “sustainability”. *J. Environ. Assess. Policy Manag.*, v. 7, p. 1-33, 2005.

FARSARI, Y.; PRASTACOS, P. (2002) Sustainable Development Indicators: An Overview. *In: International Conference Citizens, Sustainable Development, Environment, Foundation For Mediterranean Cooperation, Atenas, 2002. Anais.*

FALKENMARK M., WIDSTRAND, C. Population and water resources: a delicate balance. *Pop. Bull. Pop. Reference Bureau, Washington*, p 33, 1992.

FAO. FAOSTAT. In: Food and agriculture organization of the United Nations. 2014. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/>. Acesso em: 10 dez. 2019.

FAUSTINO, J. Planificación y gestión de manejo de cuencas. Turrialba: CATIE, 1996. 90p.

FEAM/MG. FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. IDE Sisema. Disponível em: <http://idesisema.meioambiente.mg.gov.br>. Acesso em: 10 jan. 2020.

FEIL, Alexandre André; SCHREIBER, Dusan. Sustentabilidade e desenvolvimento sustentável: desvendando as sobreposições e alcances de seus significados. Cad. EBAPE.BR, Rio de Janeiro, v. 15, n. 3, p. 667-681, July 2017.

FERREIRA, A. B. H. Dicionário Aurélio da Língua Portuguesa. 5. ed. Curitiba, Paraná: Positivo – Livros, 2010.

FERRER, G. R.; CRUZ, P. M. Direito, sustentabilidade e a premissa tecnológica como ampliação de seus fundamentos. In: SOUZA, Maria Cláudia da Silva Antunes de; REZENDE, Elcio Nacur. *Sustentabilidade e meio ambiente: efetividades e desafios*. Belo Horizonte: Editora D'Plácido, 2017.

FIALA, N. (2008) Measuring sustainability: why the ecological footprint is bad economics and bad environmental science. *Ecological Economics*, v. 67, n. 4, p. 519-525.

FIPEZAP. Comparativo do preço médio de venda residencial em setembro de 2018 (R\$/m²). Disponível em: <https://fipezap.zapimoveis.com.br/wp-content/uploads/2018/10/fipezap-201809-residencial-venda.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2020.

FJP. FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. Pesquisa de Emprego e Desemprego na Região Metropolitana de Belo Horizonte PED/RMBH. Boletim Anual 2010. 2011.

FONSECA, A. G. M. Índice de sustentabilidade municipal: um instrumento de avaliação da qualidade de vida nos municípios brasileiros. 2010. 217 f., il. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável) - Universidade de Brasília, 2010.

FONSECA, L. W. Aplicação da ferramenta "Barômetro da Sustentabilidade" em estudos de bacias hidrográficas urbanas / Luany Weiler da Fonseca. -- 2013. 158 f.

FREITAS, J. *Sustentabilidade: direito ao futuro*. 2. ed. Belo Horizonte, MG: Fórum, 2012.

FREITAS, N. M. S.; MARQUES, C. A. Convergências entre o pressuposto da sustentabilidade e o enfoque CTS na educação científica: uma experiência analítica no contexto do ensino de química. In: Encontro Nacional de Ensino de Química, 18. Florianópolis, Santa Catarina, 2016. Anais eletrônicos... Disponível em: <http://www.eneq2016.ufsc.br/>.

FROEHLICH, C. Sustentabilidade: dimensões e métodos de mensuração de resultados. Unilasalle, Canoas, v. 3, no 2, p. 151-168, set. 2014. Disponível em: <http://revistaeletronicardfd.unibrasil.com.br/index.php/rdfd/article/view/1126>. Acesso em: 25 jul. 2019.

FUNDEP. Diagnóstico preliminar: poluição difusa. Meta 2014. Belo Horizonte, jun. 2012. Disponível em: <https://manuelzao.ufmg.br/wp-content/uploads/2019/06/DIAGNOSTICO-PRELIMINAR-POLUICAO-DIFUSA-META2014.pdf>. Acesso: 09/10/2019.

GLA (Greater London Authority). London's Ecological footprint: a review. June, 2003.

GALLOPIN, G. C. Environmental and sustainability indicators and the concept of situational indicators. A system approach. *Environmental Modelling & Assessment*, v.1, p.101-117, 1996.

GALLOPÍN, G.C. Indicators and their use: information for decision making. In: MOLDAN, B.; BILHARZ, S.; MATRAVERS, R. Sustainability indicators: a report on the project on

indicators of sustainable development. Chichester, GB: Wiley and sons, 1997. 415p. Cap. 1, p. 13-27.

GARCIA, Y. M. Aplicação do Código Florestal como Subsídio para o Planejamento Ambiental na Bacia Hidrográfica do Córrego do Palmitalzinho - Regente Feijó – São Paulo. Trabalho de conclusão (Bacharelado - Geografia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia - Presidente Prudente: [s.n], 2011, 145 f.

GEO. GLOBAL ENVIRONMENT OUTLOOK. Healthy Planet, Healthy People. Nairobi, Kenya. University Printing House, Cambridge, United Kingdom, 745 Pages. DOI 10.1017/9781108627146. 2019.

GFN. GLOBAL FOOTPRINT NETWORK. Ecological Footprint: Overview. 2006. Disponível em: <<http://www.footprintnetwork.org/>>. Acessado em: 14 jan. 2019.

_____. (2019). Disponível em <http://www.footprintnetwork.org/en/index.php/GFN>. 2019.

GHG - GHG Protocol Brasil. Ferramenta de cálculo do Programa Brasileiro GHG Protocol. Disponível em <http://ghgprotocolbrasil.com.br/ferramenta-de-calculo/?locale=pt-br>. Acesso em: 11 dez. 2019.

GIBSON, R. B. Sustainability-based assessment criteria and associated frameworks for evaluations and decisions: theory, practice and implications for the Mackenzie Gas Project Review. Waterloo: Mackenzie Joint Review Panel, 2006.

GROBER, U. Deep Roots: A Conceptual History of “sustainable Development” (Nachhaltigkeit). Discussion papers, Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung. Berlin: WZB, 2007.

GUIMARÃES, L.T. Proposta de um sistema de Indicadores de Desenvolvimento Sustentável para bacias hidrográficas. Tese (Doutorado em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2008.

GUIJT, I.; MOISEEV, A. (2001). Resource Kit for Sustainability Assessment, IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK. Part A x + 83 pp., Part B viii + 172 pp., Part C iv + 92 pp.

GUIJT, I.; MOISEEV, A. *Resource Kit for Sustainability Assessment, part a: overview based on the work of the Iucn / Idrc sustainability assessment team*. Gland, Switzerland and Cambridge, UK: IUCN, 2001. 83 p. Disponível em: <http://www.iucn.org/themes/eval/index.html>. Acesso em 15 jan. 2019.

GUIJT, I.; MOISEEV, A. *Resource Kit for Sustainability Assessment, part c: Slides for Facilitators*. Gland, Switzerland and Cambridge, UK: IUCN, 2001. 92 p. Disponível em: <http://www.iucn.org/themes/eval/index.html>. Acesso em 15 jan. 2019.

GUROO. Disponível em <https://www.guroo.com.br/?p=2922>. Acessado em: 04 nov. 2019.

HAILS, C.; LOH, J.; GOLDFINGER, S. Living Planet Report 2006. World Wide Fund for Nature International (WWF), Zoological Society of London (ZSL), Global Footprint Network, Gland, Switzerland. 2006.

HAMMOND, A.; ADRIAANSE, A.; RODENBURG, E.; BRYANT, D.; WOODWARD, R. Environmental Indicators: A systematic approach to measuring and reporting on environmental

policy performance in the context of sustainable development. Washington, D.C.: World Resources Institut, 1995.

HARDI, P.; BARG, S. (1997) Measuring sustainable development: review of current practice. Canadá: *International Institute for Sustainable Development*.

HARDI, P., ZDAN, T. J. Assessing Sustainable Development: Principles in Practice. Winnipeg: IISD, 1997.

HART, M. Guide to sustainable community indicators, West Hartford, Hart Environmental Data, 1999.

HIREMATH, Rahul B.; Balachandra, P.; Kumar, Bimlesh; Bansode, Sheelratan S.; Murali, J.. Indicator-based urban sustainability—a review. *Energy for sustainable development*, v. 17, n. 6, p. 555-563, 2013.

HOEKSTRA, A.Y. (2009) Human appropriation of natural capital: A comparison of ecological footprint and water footprint analysis, *Ecological Economics* 68(7): 1963-1974.

HOGAN, D.J. Population and environment in Brazil: a changing agenda. In: CLARKE, J.I. e TABAH, L. (Eds.), *Population environment-development interactions*. Paris: Ciced, 1995.

HSU, A., ALEXANDRE, N., BRANDT, J., CHAKRABORTY, T., COMESS, S., FEIERMAN, A., HUANG, T., JANASKIE, S., MANYA, D., MORONEY, M., MOYO, N., RAUBER, R., SHERRIFF, G., THOMAS, R., TONG, J., XIE, Y., WEINFURTER, A., YEO, Z. The Urban Environment and Social Inclusion Index. New Haven, CT: Yale University. Available: datadrivenyale.edu/urban. 2018.

IAQUINTO, B. O. A sustentabilidade e suas dimensões. *REVISTA DA ESMESC*, v. 25, p. 157-178, 2018.

IBÁ. INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – PUBLICAÇÕES. Disponível em: <https://iba.org/publicacoes>. Acesso em: 10 dez. 2019.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Demográfico 2010 – Resultados do Universo. Rio de Janeiro, 2011.

_____. Indicadores de desenvolvimento sustentável: Brasil 2012. Estudos e Pesquisas. Informações Geográficas, Rio de Janeiro: IBGE, n. 9, 2012.

_____. Agricultura, pecuária e outros. 2010-2014. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria.html>. Acesso em: novembro, 2019a.

_____. Pesquisa Mensal do Emprego - PME. 2002-2015. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/trabalho/9180-pesquisa-mensal-de-emprego.html?=&t=microdados>. Acesso em: setembro, 2019b.

_____. Produto Interno Bruto dos Municípios. 2010-2014. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/contas-nacionais/9088-produto-interno-bruto-dos-municipios.html?=&t=o-que-e>. Acesso em: 15 abr. 2019c.

_____. Pesquisa de Orçamentos Familiares. 2008-2009. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9050-pesquisa-de-orcamentos-familiares.html?edicao=9051&t=sobre>. Acesso em: 10 dez. 2019d.

_____. Frota de Veículos. 2010-2014. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pesquisa/22/28120?tipo=grafico>. Acesso em: 12 ago. 2019e.

IEF/MG. Instituto Estadual De Florestas. Sistema de Controle de Atividades Florestais (CAF). Disponível em: <http://www3.siam.mg.gov.br/siamProfile/>. Acesso em: 13 nov. 2019.

IGAM. INSITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. Monitoramento de Qualidade das Águas. Disponível em: <http://portalinfohidro.igam.mg.gov.br/monitoramento-de-qualidade-das-aguas>. Acesso em: 14 fev. 2019.

IIASA e FAO. Global Agro-Ecological Zones (GAEZ) 2000 CD-ROM. International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA) and Food and Agriculture Organization (FAO), Rome. 2000.

INMET. INSITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. DMEP - Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>. Acesso em: 20 nov. 2019.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Especiais. Queimadas. Disponível em <http://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portal>. Acesso em: 12 ago. 2019.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Geneva: National Greenhouse Gas Inventories Programme, 2006.

IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Índice de Vulnerabilidade Social. 2010-2014. Disponível em: <http://ivs.ipea.gov.br/index.php/pt/planilha>. Acesso em: 14 set. 2019.

IPEAD. Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas, Administrativas e Contábeis de Minas Gerais. Índice de Preços ao Consumidor Amplo de Belo Horizonte - IPCA. Balanço Anual 2010. Belo Horizonte, 2011.

_____. Índice de Preços ao Consumidor Amplo de Belo Horizonte - IPCA. Balanço Anual 2014. Belo Horizonte, 2015.

IUCN. INTERNATIONAL UNION FOR CONSERVATION OF NATURE. An Approach to Assessing Progress Towards Sustainability. Cambridge: IUCN, IDRC, SDC, NID, 1997.

JANG, J.-S. R.; SUN, C.-T.; MIZUNAMI, E.; Neuro-fuzzy ans Soft Computing, 1997 Prentice Hall.

JESINGHAUS, J. [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por jj2006@alice.it em 27 ago. 2019.

_____. Indicators for Decision Making. European Comission, JRC/ISIS/MIA, TP 361, 1-21020 Ispra (VA), Draft, 1999.

KAMMERBAUER, J. (2001): “Las dimensiones de la sostenibilidad: fundamentos ecológicos, modelos paradigmáticos y senderos”. Interciencia, 26(8): 353-359.

KHANNA, N. Measuring environmental quality: an index of pollution. *Ecological Economics*, v. 35, n. 2, p. 191-202, nov. 2000.

KAVINSKI, H. A apropriação do discurso da sustentabilidade pelas organizações: um estudo multicaso de grandes empresas. 2009. 110f. Dissertação (Mestrado em Organizações e Desenvolvimento) – Coordenação do Programa de Mestrado em Organizações e Desenvolvimento, FAE Centro Universitário, Curitiba, 2009.

KONEN, J. H., CASEY W. H., MARIA MANTA, C., KRISHNA, P. V. “Sustainable community indexing, a process approach.” (2009).

KRAMA, M.R. Análise dos indicadores de desenvolvimento sustentável no Brasil, usando a ferramenta Painel de Sustentabilidade, 2008. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da Pontifícia Universidade Católica do Paraná, 2008.

KRONEMBERGER, D. M. P. A Viabilidade do Desenvolvimento Sustentável na Escala Local: o caso da Bacia do Jurumirim (Angra dos Reis, RJ). 2003. 274 f. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Química, Universidade Federal Fluminense, 2003.

LAURA, A. L. Um método de modelagem de um sistema de indicadores de sustentabilidade para gestão de recursos hídricos-MISGERH: o caso da Bacia dos Sinos. Tese de Doutorado, Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

LAWRENCE, P; MEIGH, J.; SULLIVAN, C. 2002. The Water Poverty Index: an International Comparison, Keele Economics Research Papers, Keele University, Keele, Staffordshire, UK peagent, Out.

LEITE, A.M.F. Estudo de Sustentabilidade Sócio-Ecológico Urbano através da Pegada ecológica: região metropolitana de Fortaleza/CE. 2001. 142 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2001.

LIMA, E.; BALLINI, R.; e GOMIDE, F. (2007). Modelagem de sistemas utilizando aprendizado participativo, VIII Congresso Brasileiro de Redes Neurais – CBRN’07, Florianópolis, SC, Brasil, pp. 2619–2624.

LIN, D.; HANSCOM, L; MARTINDILL, J; BORUCKE, M; COHEN, L; GALLI, A., LAZARUS, E.; ZOKAI, G.; IHA, K.; EATON, D.; WACKERNAGEL, M. 2019. Working Guidebook to the National Footprint and Biocapacity Accounts. Oakland: Global Footprint Network.

LINDSEY, T. C. Sustainable principles: common values for achieving sustainability. *Journal Cleaner Production*, v. 19, n. 5, p. 561-65, 2011.

LISBOA, C.K.; BARROS, M.V.F. (2010) A pegada ecológica como instrumento de avaliação ambiental para a cidade de Londrina. *Confins - Revista Franco Brasileira de Geografia*, n. 8, p. 1-20.

LOH, J.; WACKERNAGEL, M. Living planet report. 2004. World Wide Fund for Nature International (WWF), UNEP World Conservation Monitoring Centre, Global Footprint Network, Gland, Switzerland. 2004.

LOPES, S. B. 2001. Arranjos institucionais e a sustentabilidade de sistemas agroflorestais: uma proposição metodológica. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós- Graduação em Desenvolvimento Rural, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, BR-RS.

LOURENÇO, M.S. (2006) Questões técnicas na elaboração de indicadores de sustentabilidade. In: SEMINÁRIO UNIFAE DE SUSTENTABILIDADE, 2006, Curitiba. *Anais*.

LOUETTE, Anne (Org.), 2009. Indicadores de nações: uma contribuição ao diálogo da sustentabilidade. São Paulo: Antakarana/Willis HarmanHouse.

LOZANO, R. Towards better embedding sustainability into companies' systems: an analysis of voluntary corporate initiatives. *Journal of Cleaner Production*, v. 25, p. 14-26, 2012.

LUCENA, A.D.; CAVALCANTE, J.N.; CÂNDIDO, G.A. (2011) Sustentabilidade do município de João Pessoa: uma aplicação do barômetro da sustentabilidade. *Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional*, v. 7, n. 1, p. 19-49.

LUME ESTRATÉGIA AMBIENTAL. Projeto de Valorização das Nascentes Urbanas. 2012. Disponível em: <http://cbhvelhas.org.br/projetos-subcomites-arrudas-e-onca/>. Acessado em 09 de outubro de 2019.

MAGALHAES JR, A.P.M.; CORDEIRO NETO, O.M.; NASCIMENTO, N.O. Os indicadores como instrumentos de gestão das águas no atual contexto legal-institucional do Brasil- Resultados de um painel de especialistas. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. v. 8, n.4, pp. 49-67, 2003.

MALHEIROS, T. F.; PHILIPPI JR., A.; COUTINHO, S. M. V. Agenda 21 nacional e indicadores de desenvolvimento sustentável: contexto brasileiro. *Saude soc.*, São Paulo, v. 17, n. 1, p. 7-20, Mar. 2008.

MALONE, T.C.; DIGIACOMO, P.M.; GONÇALVES, E.; KNAP, A.H.; TALAUEMCMANUS; L.; MORA, S. A global ocean observing system framework for sustainable development. *Marine Policy*, v.43, p.262-272, 2014.

MARANHÃO, N. Sistema de Indicadores para Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos de Bacias Hidrográficas. Rio de Janeiro. 2007. 397 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE. Rio de Janeiro, 2007.

MARQUES, L. C. Capitalismo e colapso ambiental. 2. ed. rev. e ampl. Campinas: Editora da UNICAMP, 2016. 711 p. ISBN 9788526813373 (Broch.).

MARRO, A.A.; SOUZA, A.M.; CAVALCANTE, E.R.; BEZERRA, G.; NUNES, R. Lógica Fuzzy: Conceitos e Aplicações, Departamento de Informáticae Matemática Aplicada- Universidade Federal do Rio Grande do Norte-Natal-RN, 2013.

MARTIN, A. M. C. B. Avaliação da Sustentabilidade biofísica do socioecossistema São Luís através do índice Pegada Ecológica / Alexsandra Maura Costa Bernal Martin. – São Luís, 2008. 104p. Dissertação (Mestrado em Sustentabilidade de Ecossistemas) – Universidade Federal do Maranhão; 2008.

MARTINEZ ALIER, J. 1995. Curso a distancia de economía ecológica. México D-F: Red de Formación Ambiental del PNMA.

MARTINS, F.B. et al. Zoneamento Ambiental da sub – bacia hidrográfica do Arroio Cadena, Santa Maria (RS). Estudo de caso. *Cerne*, Lavras, v.11, n.3, p.315-322, jul./set. 2005.

MARTINS Jr., P.P. 2013. Fundamentos da Perícia Ambiental. Belo Horizonte: Centro Universitário UNA. Apostila. 2013.

MEADOWS, D.H; MEADOWS, D. L; RANDERS, J; BEHRENS, W. The limits to growth. Nova Iorque: Universe Books, 1972.

MEBRATU, D. Sustainability and sustainable development: Historical and conceptual review. *Environmental Impact Assessment Review*, v. 18, n. 6, p. 493-520, 1998.

MENDES, Jefferson Marcel Gross. Dimensões da Sustentabilidade. *Revista das Faculdades Integradas Santa Cruz de Curitiba – Inove*. Curitiba, v. 7, n. 2, p. 49-59, 2009. Disponível em: <<http://www.santacruz.br/v4/download/revista-academica/13/cap5.pdf>>. Acesso em: 02 fev. 2020.

MILANEZ, B. & TEIXEIRA, B.A.N. Proposta de método de avaliação de indicadores de sustentabilidade para gestão de resíduos sólidos urbanos. In: FRANKENBERG, C.L.C. RAYARODRIGUEZ, M.T. & CANTELLI, M. (Coords.). *Gestão ambiental urbana e industrial*. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2003. 272-283.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. DATASUS. Indicadores de Morbidade e Fatores de Risco –Taxa de Incidência da Dengue. Disponível em: <http://tabnet.datasus.gov.br>. Acesso em: 20 abr. 2019.

MINISTÉRIO DO TURISMO. Índice de competitividade do turismo nacional (Recurso eletrônico): destinos indutores do desenvolvimento turístico regional : relatório Brasil 2010. Brasília, 2011.

_____. Índice de competitividade do turismo nacional (Recurso eletrônico): destinos indutores do desenvolvimento turístico regional : relatório Brasil 2014. Brasília, 2015.

MITCHELL, G. Problems and fundamentals of sustainable development indicators. *Sustainable Development*, v. 4, n. 1, p. 1-11, 1996.

MITITELU-IONUȘ, O. "Watershed Sustainability Index Development and Application: Case Study of the Motru River in Romania". *Polish Journal of Environmental Studies* 26 no. 5 (2017): 2095-2105. doi:10.15244/pjoes/69935.

MOKFIENSKI, Alfredo *et al.* Importância da Densidade e do Teor de Carboidratos Totais da Madeira de Eucalipto no Desempenho da Linha de Fibra.

MOLLE, F. Planning and managing water resources at the river-basin level: Emergence and evolution of a concept. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute. 2006. 38p. (IWMI Comprehensive Assessment Research Report 16).

MONFREDA, C.; WACKERNAGEL, M.; DEUMLING, D. Establishing national natural capital accounts based on detailed Ecological Footprint and biological capacity assessments. *Land Use Policy* 21 (2004): 231-246. 2004.

MONTEIRO, R. R. Metodologia para avaliação ambiental de bacias hidrográficas com uso de sistemas de suporte à decisão espacial e do indicador pegada ecológica. 2010. 124 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

MORI, K.; CHRISTODOULOU, A. (2012) Review of sustainability indices and indicators: towards a new City Sustainability Index (CSI). *Environmental Impact Assessment Review*, v. 32, n. 1, p. 94-106.

MUELLER, C.; TORRES, M.; MORAIS, M. Referencial básico para a construção de um sistema de indicadores urbanos. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), 1997.

MUNICIPIO VERDEAZUL. O Programa. Disponível em: <<http://verdeazuldigital.sp.gov.br/site/o-projeto/>>. Acesso em: 26 set. 2019.

NAESS, A. Ecology: The Shallow and the deep" In Cahn, M. A.; O'Brien, R. (orgs.). Thinking about the environment – Readings on Politics, Property and the Physical World. London: M.E. Sharpe, 1996.

NAKAMURA, JULIA NAOMI. O Direito Ambiental Internacional: Construção e Efetividade na Defesa do Meio Ambiente. Trabalho de Conclusão de Curso – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: PUC-RJ/Departamento de Direito: 2013.

NESS, B.; URBEL-PIRSALU, E.; ANDERBERG, S.; OLSSON, L. Categorising tools for sustainable assessment. *Ecological Economics*, Elsevier, Amsterdam, v.60, p.498-508, jan. 2007.

OCDE. Draft Synthesis Report, Group on State of the Environment Workshops on Indicators for Use in Environmental Performance Reviews . Doc ENV/EPOC/SE(96. Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris, 1993.

OLIVEIRA, E. L., OLIVEIRA, E. A. A. Q., & CARNIELLO, M. F. (2015). O Barômetro da Sustentabilidade aplicado ao município de Taubaté-SP. *Desenvolvimento em Questão*, 13(30), 230-264.

ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Relatório Sobre os Objetivos de Desenvolvimento do Milênio 2015. Nova Iorque, 2015.

OTT, W. R. 1978. Environmental Indices: Theory and Practice. Ann Arbor, MI: Ann Arbor Science Publishers, Inc.

PAIVA, J. B. D.; PAIVA, E. M. C. D. Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2001, v. 1, p. 624.

PATTERSON, M. Headline indicators for tracking progress to sustainability in New Zealand. Wellington, New Zealand: Ministry for the Environment, 2002. 126p. (Technical Report N° 71).

PAWLOWSKI, A. How many dimensions does sustainable development have? *Sustainable Development*, São Francisco, v.16, n. 2, p. 81-90, 2008.

PBH. PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE. Observatório do Milênio. Disponível em: <https://prefeitura.pbh.gov.br/planejamento/planejamento-e-orcamento/observatorio-milenio>. Acesso em: 06 jun. 2019.

PDRH-VELHAS, CBH VELHAS. Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas. Plano Diretor de Recursos Hídricos. Minas Gerais, 2015.

PEARCE, D. et. al. Environment Economics. Baltimore: The John Hopkins University Press, 1993.

PEREIRA, L. G. Síntese dos métodos de pegada ecológica e análise energética para diagnóstico da sustentabilidade de países: o Brasil como estudo de caso. 2008. 184p. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Campinas, SP. Disponível em: <<http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/256261>>. Acesso em: 11 ago. 2018.

PEREIRA, R. R. Desenvolvimento sustentável: paradigmas, conceitos, dimensões e estratégias. Revista do Tribunal de Contas da União, n.125, p. 102-115, 2012.

PINTÉR, L.; HARDI, P.; MARTINUZZI, A.; HALL, J. Bellagio STAMP: Principles for sustainability assessment and measurement. Ecological Indicators, v. 17, p. 20-28, 2012.

PIRES, J. S. R.; SANTOS, J. E.; DEL PRETTE, M. E. A utilização do Conceito de Bacia Hidrográfica para a conservação dos Recursos Naturais. Conceitos de Bacias Hidrográficas: teorias e aplicações. Ilhéus, Editus, p.17-35, 2002.

PISANI, J. A. Sustainable development – historical roots of the concept. Environmental Sciences, v. 3, n. 2, p. 83-96, 2006.

PMC. PREFEITURA MUNICIPAL DE CONTAGEM. Plano Estratégico, Contagem 2030. Disponível em: http://www.contagem.mg.gov.br/novoportal/wp-content/uploads/2018/08/PlanoEstrategicoWebESP_210818.pdf. Acesso em: 13 ago. 2019.

PNUMA. Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. Projeto Geo Cidades: relatório ambiental urbano integrado - Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: PNUMA/MMA/IBAM/ISER/REDEH; 2007.

PORTO, R.L. (Org). Hidrologia Ambiental. vol.3., Edusp. Coleção ABRH de Recursos Hídricos. São Paulo. 411p, 1991.

PORTO-GONÇALVES, C. W. A globalização da natureza e a natureza da globalização. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 2012.

PÓVOAS, Monike Silva. O amor na sociedade de risco: a sustentabilidade e as relações de afeto. In: SOUZA, Maria Cláudia da Silva Antunes de; ARMADA, Charles Alexandre. *Sustentabilidade, meio ambiente e sociedade: reflexões e perspectivas* [e-book]. Umuarama: Universidade Paranaense – UNIPAR, 2015.

PREFEITURA DE BELO HORIZONTE. Balanço Anual. Disponível em: <https://prefeitura.pbh.gov.br/transparencia/contas-publicas/balanco-anual>. Acesso em: 28 abr 2019.

PRESCOTT-ALLEN, R. Barometer of stability. In: MOLDAN, B.; BILHARZ, S.; MATRAVERS, R. Sustainability indicators: a report on the project on indicators of sustainable development. Chichester, GB: Wiley and sons, 1997. p.133-137.

PRESTES, M.F.; GARCIAS, C.M.; LIMA, C.A. (2012) Manual de aplicação do Barômetro da Sustentabilidade: uma ferramenta de indicadores para uso em planejamento e gestão urbana. In: Congresso Luso-brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável - Pluris: Reabilitar o Urbano, 5., 2012, Brasília. *Anais*.

PROGRAMA CIDADES SUSTENTÁVEIS, s.d. Disponível em: <https://www.cidadessustentaveis.org.br>. Acesso em: 06 nov. 2019.

QUIROGA, R. M. Indicadores de sostenibilidad ambiental y de desarrollo sostenible: estado del arte y perspectivas. Santiago de Chile: Naciones Unidas, CEPAL, 2005. 122 p. (Serie manuales; 43).

RAVILLION, M., CHEN, S. e SANGRAULA, P. Dollar a day Revisited – Policy Research Working Paper 4620. The World Bank, 2008. Disponível em < <http://documents.worldbank.org/curated/pt/350401468157768465/pdf/wps4620.pdf> >. Acesso em 01 de agosto de 2019.

REID, W.V. et al. Earth System Science for Global Sustainability: Grand Challenges. Environment and Development, v.330, n.6006, p.916-917, 2010.

REN21. Renewable 2018 – Global Status Report. 2018. Disponível em: < http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2018/06/17-8652_GSR2018_FullReport_web_final_.pdf >. Acesso em 30 de setembro de 2018.

RIBEIRO, J. C. J. Desenvolvimento de modelo para avaliação de desempenho de política pública de meio ambiente - estudo de caso: Estado de Minas Gerais. 2005. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

RIGBY, D.; HOWLETT, D.; WOODHOUSE, P. A review of indicators of agricultural and rural livelihood sustainability. Manchester: Manchester University. Institute for Development Policy and Management, 2000. 29 p.

ROBERT, K. H.; DALY, H.; HAWKEN, P.; HOLMBERG, J. A Compass for sustainable Development. Resource Magazine, Issue 170, 1995.

ROCHA, J. L. S.; REGO, N. A. C.; SANTOS, J. W. B. dos. Indicador integrado de qualidade ambiental aplicado à gestão da bacia hidrográfica do rio Jiquiriça, BA, Brasil. Revista Ambiente & Água – Na Interdisciplinary Journal of Applied Science: v. 5, n. 1, 2010.

ROHAN, U.; BRANCO, R. R.; SOARES, C. A. P. Potencialidades e limitações dos instrumentos de mensuração da sustentabilidade. Eng. Sanit. Ambient., Rio de Janeiro, v. 23, n. 5, p. 857-869, out. 2018.

ROMA, J. C. Os objetivos de desenvolvimento do milênio e sua transição para os objetivos de desenvolvimento sustentável. Cienc. Cult., São Paulo, v. 71, n. 1, p. 33-39, Jan. 2019.

ROMERO, Marta A. B. Frentes do Urbano para a Construção de Indicadores de Sustentabilidade Intra Urbana. In Paranoá: cadernos de arquitetura e urbanismo da FAU-UnB. Ano 6, n. 4 (novembro/2007). Brasília: FAU UnB, 2007.

REIS, A. L. Q. Índice de sustentabilidade aplicado à Bacia do Rio Cuiá-João Pessoa(PB). 2010. 137 f. Dissertação (Mestrado em Gerenciamento Ambiental) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2010.

ROSA, L. A. S. A Bacia Hidrográfica como Unidade Territorial de Gestão Ambiental no Programa de Revitalização do rio São Francisco/ Larissa Alves da Silva Rosa. Brasília, 2011. 91 p. : il, 2011.

ROSS, J.L.S., “Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados”. In: Revista do Departamento de Geografia nº8, FFLCH-USP, São Paulo, 1994.

RUSSELL, STUART E NORVIG, PETER. 2013. Inteligência Artificial. Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda, 2013.

SACHS, Ignacy. *Estratégias de transição para o Século XXI: desenvolvimento e meio ambiente*. São Paulo, SP: Studio Nobel: Fundação do desenvolvimento administrativo, 1993.

SACHS, Ignacy. Caminhos para o desenvolvimento sustentável. Rio de Janeiro: Garamond, 2000.

SACHS, I. Caminhos para o Desenvolvimento Sustentável. Rio de Janeiro: Garamond, 2002.

_____. Caminhos para o desenvolvimento sustentável. (Org.) Paula Y. Stroh. Rio de Janeiro: Garamond, 2009b.

SANTOS, M.F.R.F.; XAVIER, L.S.; PEIXOTO, J.A.A. (2008) Estudo do indicador de sustentabilidade Pegada Ecológica: uma abordagem teórico-empírica. *Revista Gerenciais*, v. 7, n. 1, p. 29-37.

SARTORI, S.; LATRÔNICO, F.; CAMPOS, L. Sustainability and sustainable development: A taxonomy in the field of literature. *Ambiente & Sociedade*, v. XVII, n. 1, p. 1-20, 2014.

SBAU. SOCIEDADE BRASILEIRA DE ARBORIZAÇÃO URBANA. “Carta a Londrina e Ibiporã”. Boletim Informativo, v.3, n.5, p.3, 1996.

SCANDAR NETO, W. Síntese que organiza o olhar: uma proposta para construção e representação de indicadores de desenvolvimento sustentável e sua aplicação para os municípios fluminenses. 2006. 110f. Dissertação (Mestrado em Estudos Populacionais e Pesquisas Sociais) – Coordenação do Programa de Pós-graduação em Estudos Populacionais e Pesquisas Sociais, Escola Nacional de Ciências Estatísticas, Rio de Janeiro, 2006.

SCHLÖR, H.; FISHER, W. HAKE, J. The history of sustainable development and the impact of the energy system. *International Journal of Sustainable Society*, v. 4, n. 4, p. 317-35, 2012.

SCIPIONI, A.; MAZZI, A.; MASON, M.; MANZARDO, A. (2009) The dashboard of sustainability to measure the local urban sustainable development: the case study of Padua municipality. *Ecological Indicators*, v. 9, p. 364-380.

SCORECARD (2005) Water quality indicators. <http://www.scorecard.org>.

SESP. SECRETARIA DE ESTADO DE SEGURANÇA PÚBLICA DE MINAS GERAIS. Índices de criminalidade de 2011 nos 29 municípios de Minas Gerais com mais de 100 mil habitantes. Disponível em: http://www.seguranca.mg.gov.br/images/seds_docs/estatisticas/indices%20de%20criminalidade%202011.pdf. Acesso em: 14 out. 2019.

_____. Banco de Crimes Violentos. 2012-2019. Disponível em: <http://www.seguranca.mg.gov.br/2018-08-22-13-39-06/dados-abertos>. Acesso em: 14 out. 2019.

SICHE, R.; AGOSTINHO, F.; ORTEGA, E; ROMEIRO, A. Índices versus indicadores: precisões conceituais na discussão da sustentabilidade de países. *Ambient. soc.*, Campinas, v. 10, n. 2, p. 137-148, Dec. 2007.

SILVA, N., V. As condições de Salubridade Ambiental das Comunidades Periurbanas da Bacia do Baixo Gramame: Diagnóstico e Proposição de Benefícios. 2006. 122 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Curso de PósGraduação em Engenharia Urbana, Universidade Federal da Paraíba, Paraíba, 2006.

SIMONOVIC, S. Measures of sustainability and their utilization in practical water management planning. *IAHS: Regional Management of Water Resources*, n. 268, p. 3-16, 2001.

SLIMANE, M. Role and relationship between leadership and sustainable development to release social, human, and cultural dimension. *Social and Behavioral Sciences*, v. 41, p. 92-99, 2012.

SLU. SUPERINTENDÊNCIA DE LIMPEZA URBANA. Dados. Belo Horizonte, 2020.

SMA – Secretaria de Estado do Meio Ambiente. Agenda 21: resumo. São Paulo; 1993.

SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (2010-2018). Disponível em: <http://www.snis.gov.br>. Acesso em: 10 abr. 2019.

SPANGENBERG, Joachim; BONNIOT, Odile. Sustainability indicators: a compass on the road towards sustainability. *Wuppertal Institute*, v. 81, 1998.

SOUTO, R. D. *Desenvolvimento Sustentável. Da tentativa de definição do conceito às experiências de mensuração*. 2011. 281 f. Dissertação (Mestrado em Estudos Populacionais e Pesquisas Sociais) – Escola Nacional de Ciências Estatísticas (ENCE), Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 2011.

SOUZA, A. P. Listagem de Indicadores Analisados no Processo de Seleção de Variáveis. Disponível em: https://drive.google.com/file/d/1eju-6YoEWLtCTABylHT_wngNbQDwJQ-N/view?usp=sharing. Acesso em: 05 jun. 2019.

SOUZA, M. C. S. A.; GARCIA, R. S. Sustentabilidade e desenvolvimento sustentável: desdobramentos e desafios pós-relatório Brundtland. In: SOUZA, Maria Cláudia da Silva Antunes de; REZENDE, Elcio Nacur. *Direito e sustentabilidade II* [recurso eletrônico on-line]. Florianópolis: CONPEDI, 2016.

SULLIVAN, C.A.; MEIGH, JR. 2003. Considering the Water Poverty Index in the context of poverty alleviation. *Water Policy* 5:513–528.

TEIXEIRA, D. A. Construção e determinação do indicador de salubridade ambiental (ISA/OP) para as áreas urbanas do município de Ouro Preto, MG [manuscrito] / Diogo Araújo Teixeira. - 2017. 154f.

TEIXEIRA, M.F.F.B. Pegada Ecológica e Políticas Públicas: Estudos de caso de três cidades brasileiras. *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica* Vol. 19:15-28, 2012.

TRE-MG. TRIBUNAL REGIONAL ELEITORAL DE MNAS GERAIS. Eleitor e Eleições. Disponível em: <http://www.tre-mg.jus.br>. Acesso em: 12 mai. 2019.

TRISTÃO, M. A educação ambiental na formação de professores: redes de saberes. São Paulo: Annablume; Vitória: FACITEC, 2004.

TRNEE. (2003). Réhabiliter le passé, Construire l'avenir : une stratégie nationale des sites urbains contaminés réhabilitables pour le Canada, Rapport de la Table ronde nationale sur l'environnement et l'économie (TRNEE), Ottawa, Canada, ISBN 1-894737-29-6.

TUCCI, C. E. M. Controle de Enchentes. In: TUCCI, C. E. M. Hidrologia: ciência e aplicação. Porto Alegre, RS: ABRH-Edusp, 1993. cap. 4.

VAEZA, R. F.; OLIVEIRA FILHO, P. C.; MAIA, A. G.; DISPERATI, A. A. Uso e Ocupação do Solo em Bacia Hidrográfica Urbana a Partir de Imagens Orbitais de Alta Resolução. *Floresta e Ambiente*, 2010; 17(1):23-29.

VAN BELLEN, H. M. Indicadores de sustentabilidade: uma análise comparativa. 2.ed. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 2006.

_____. Indicadores de sustentabilidade: uma análise comparativa. 2002. 220 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Florianópolis, 2002.

VAN DEN BERGH, J.C.J.M.; VERBRUGGEN, H. (1999) Spatial sustainability, trade and indicators: an evaluation of the "ecological footprint". *Ecological Economics*, v. 29, p. 61-72.

VAN KOOTEN, G.C.; BULTE, E.H. (2000) The ecological footprint: useful science or politics. *Ecological Economics*, v. 32, n. 3, p. 385-389.

VILAÇA, M. F.; NASCIMENTO, W. M. Bacias Hidrográficas: Planejamento e Gerenciamento. Publicado na revista eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros, Três Lagoas, n. 7, maio de 2008.

UFMG. UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS - Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional Bases Cartográficas. Macrozoneamento da Região Metropolitana de Belo Horizonte. 2015. Disponível em: <http://www.rmbh.org.br/central-cartog.php>. Acesso em: 15 mai. 2019.

UNESCO, Paris, 2001. Hydrology for the Environment, Life and Policy. *HELP*. *HELP* is a joint ... The Design and Implementation Strategy of the *HELP* Initiative. 2.

UNESCO (2005) Hydrology for the Environment, Life And Policy – *HELP* Paris, France, p 20 (Brochure) Viessmann W (1990) Water management issues for the nineties. *Water Resour Bull* 26(6):886–891. 2005.

UNESCO - UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION. 1987. Methodological Guidelines for the Integrated Environmental Evaluation of Water Resources Development. Paris: UNEP, UNESCO, Paris, França. p. 152.

UNESCO-SCOPE. 2006. *Indicators of sustainability: Reliable tools for decision making*. UNESCO-SCOPE Policy Briefs May 2006 - No.1. UNESCO-SCOPE, Paris.

UNITED NATIONS. Indicators of sustainable development: guidelines and methodologies. New York, 2001.

WACKERNAGEL, M.; REES, W. Our Ecological Footprint: reducing human impact on the Earth. Gabriola Island, BC: New Society, 1996. 160p.

WERBACH, A. Estratégia para sustentabilidade: uma nova forma de planejar sua estratégia empresarial. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

YASSUDA, E. R. Gestão de Recursos Hídricos: Fundamentos e Aspectos Institucionais. Revista Administração Pública. v. 27, n. 2, p. 5-18, 1993.