



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
NÚCLEO DE DESENVOLVIMENTO AMAZÔNICO EM ENGENHARIA - NDAE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM COMPUTAÇÃO APLICADA**

Marcelo Santana Camacho

**Proposição de um software para monitoramento
do desempenho da sustentabilidade em
municípios paraenses.**

DM: 09/2023

Tucuruí-PA

2023

Marcelo Santana Camacho

**Proposição de um software para monitoramento
do desempenho da sustentabilidade em
municípios paraenses.**

Dissertação de mestrado submetida à Banca Examinadora do Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada como quesito de obtenção do Grau de Mestre em Computação Aplicada com ênfase em Engenharia de Software.

Orientador: Prof. Dr. Fabrício de Souza Farias

Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Marcela Alves de Souza

Tucuruí-PA

2023

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

S231p Santana Camacho, Marcelo.
Proposição de um software para monitoramento do desempenho da sustentabilidade em municípios paraenses. / Marcelo Santana Camacho. — 2023.
162 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Fabricio de Souza Farias
Coorientação: Prof^a. Dra. Marcela Alves de Souza
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Núcleo de Desenvolvimento Amazônico em Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada, Tucuruí, 2023.

1. Software. 2. Indicadores. 3. Barômetro da Sustentabilidade. 4. Municípios paraenses. I. Título.

CDD 620.001171

Marcelo Santana Camacho

Proposição de um software para monitoramento do desempenho da sustentabilidade em municípios paraenses.

Dissertação de mestrado submetida à Banca Examinadora do Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada como quesito de obtenção do Grau de Mestre em Computação Aplicada com ênfase em Engenharia de Software.

Prof. Dr. Fabrício de Souza Farias
Orientador - PPCA/UFPA

Prof^a. Dr^a. Marcela Alves de Souza
Coorientadora - UEPA

Prof. Dr. Carlos dos Santos Portela
Avaliador Interno - PPCA/UFPA

Prof. Dr. Andson Marreiros Balieiro
Avaliador Externo - UFPE

Prof. Dr. Joao Crisostomo Weyl Albuquerque Costa
Avaliador Externo - PPGCC/UFPA - PPGEE/UFPA

Visto:

Prof. Dr. Marcos Tulio Amaris Gonzalez
Coordenador do PPCA/UFPA

Dedico este trabalho aos meus avós (*in memorian*).

Maria Soares Santana, mulher forte, caridosa e
incansável que devotou à sua família toda a sua vida e
seu amor.

E José Chaves Camacho, pela sua integridade,
inspiração e bom exemplo.

Agradecimentos

Aos meus pais, José Roberto Guimarães Camacho e Telma Lucia Santana Camacho por todo o apoio, amor e confiança que depositaram em seus filhos. O direcionamento e incentivo que sempre deram para a educação dos filhos foi decisivo para a minha formação. Hoje, mais do que nunca reconheço que todo o esforço e sacrifícios por eles empreendidos foram essenciais para todas as conquistas.

À minha esposa, companheira e amiga, Antonia Vamilis da Silva Brito pelo incentivo e apoio nos momentos mais difíceis dessa longa caminhada em que exigi dela ser ouvinte, terapeuta, conselheira e amante.

Ao meu irmão, Ricardo Santana Camacho, pelas ideias e apoio sempre precisas e eficiente.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Fabrício de Souza Farias, que me acolheu e depositou confiança no meu potencial. Um homem do bem, caridoso, amigo, dedicado e muito inteligente, que ganhou destaque no meu mural de figurões que admiro e respeito.

A minha coorientadora, Prof^a. Dr^a. Marcela Alves de Souza, que deu apoio no momento mais turbulento e desafiador, que devo mencionar, foi a parte escrita da dissertação. Obrigado por todo o apoio científico e motivacional.

Aos membros da banca que compartilharam seus conhecimentos e contribuíram com valiosas ideias para o sucesso desse trabalho.

Aos colegas do PPCA e do LABEX pela convivência e parceria.

"Decorrem desses casos muito da legislação ambiental atual – uma reação a equívocos, erros e desastres provocados pelo homem. Vale dizer, todas as leis ambientais, como de resto todas as leis do campo jurídico, foram criadas pelos homens para nos proteger dos homens. Afinal, elas não nos protegem de animais ferais, nem de catástrofes climáticas naturais e menos ainda de epidemias de doenças, mas consistem em tentativas de nos proteger das inseqüências, violências e outras atitudes dos nossos semelhantes definidas como incompatíveis com o que entendemos por civilidade."

Miguel Serediuk Milano

Abstract

Brazil is being demanded and challenged to improve its control and efficiency over environmental and social projects. In 2023, the UN confirmed that COP-30, scheduled for 2025, will be hosted in Belém-PA, attracting the attention of several heads of state to the Amazon, a region entangled in geopolitical and ideological discourses. To meet global expectations, local authorities will need to show that biodiversity is a wealth of life and ways of life. To achieve this, it will be necessary to identify and mitigate the challenges highlighted in the goals of the 2030 Agenda, above all, harmonizing the interests present in meeting the goals with local reality and expectations, as currently even Public Policies (PP) implemented at national level still cannot have the effective adhesion of local agents, thus hindering its effectiveness. In this sense, we understand that indicators are important instruments for planning and evaluating PP, in the context of Sustainable Development, these indicators are more complex because they deal with issues that go beyond the notion of locality and temporality, as social and environmental events cannot be measured. and treated as economic or organizational metrics. Therefore, a good sustainability indicator needs to be easy to implement, understand and incorporate into PP projects. In this context, the Sustainability Barometer (BS) is a very useful and versatile holistic indicator of sustainability, also being an indicator already applied in several studies conducted in the State of Pará and predominating in studies applied to settlements, companies, municipalities, etc. Furthermore, the BS has a pedagogical advantage, as it easily communicates the situation, being easy to interpret and analyze. For these reasons, the BS was implemented in software to serve as a tool in the process of generating sustainability levels by municipality and region. Finally, in this work an investigation was conducted that allowed the BS method to be applied in an automated way to the 144 municipalities in Pará. In the application, several variables from the environmental, economic and social dimensions were used, allowing us to determine that the State and its regions present an Intermediate level of sustainability, with the economic dimension being the most vulnerable. We also identified that the municipalities of Belém and Parauapebas presented the best performances, while Viseu and Cachoeira do Piriá presented the worst. The panorama demonstrates that the State needs to invest in PP instruments to improve urban planning, as population growth and the emergence of new unplanned housing areas lead to various human and environmental losses. On the other hand, urban growth ordered and guided by public authorities minimizes the number of sub-housings and eradicates social problems by improving access for the most vulnerable populations to goods and services, guaranteeing human and ecosystem well-being.

Key-words: Sustainability Barometer; software; Indicator; Municipalities of Pará

Resumo

O Brasil está sendo cobrado e desafiado a melhorar seu controle e eficiência sobre projetos ambientais e sociais. No ano de 2023, a ONU confirmou que a COP-30, prevista para 2025, será sediada em Belém-PA, atraindo a atenção de vários chefes de Estado para a Amazônia, região enredada em discursos geopolíticos e ideológicos. Para atender as expectativas mundiais, autoridades locais precisarão mostrar que biodiversidade é riqueza de vida e de modos de vida. Para isso, será necessário identificar e mitigar os desafios destacados nas metas da Agenda 2030, sobretudo, harmonizando os interesses presentes no atendimento das metas com a realidade e expectativas locais, pois atualmente mesmo as Políticas Públicas (PP) implementadas a nível nacional ainda não conseguem ter a efetiva adesão de agentes locais, assim dificultando sua eficácia. Nesse sentido, entendemos que indicadores são importantes instrumentos de planejamento e avaliação de PP, no contexto do Desenvolvimento Sustentável, esses indicadores são mais complexos por lidarem com questões que superam a noção de localidade e temporalidade, pois eventos sociais e ambientais, não podem ser medidos e tratados como métricas econômicas ou organizacionais. Por isso, um bom indicador de sustentabilidade precisa ser de fácil implementação, entendimento e incorporação em projetos de PP. Nesse contexto, o Barômetro da Sustentabilidade (BS) é um indicador holístico de sustentabilidade muito útil e versátil, também sendo um indicador já aplicado em diversos estudos conduzidos no Estado do Pará e tendo predominância em estudos aplicados à assentamentos, empresas, municípios etc. Além disso, o BS possui vantagem pedagógica, pois comunica facilmente a situação, sendo de fácil interpretação e análise. Por essas razões, o BS foi implementado em *software* para servir como ferramenta no processo de geração de níveis de sustentabilidade por município e região. Por fim, neste trabalho foi conduzida uma investigação que permitiu aplicar de forma automatizada o método do BS aos 144 municípios paraenses. Na aplicação, foram utilizadas diversas variáveis das dimensões ambiental, econômica e social, permitindo aferir que o Estado e suas regiões apresentam um nível de sustentabilidade Intermediário, sendo a dimensão econômica a mais vulnerável. Também identificamos que, os municípios de Belém e Parauapebas apresentaram melhores desempenhos, enquanto que Viseu e Cachoeira do Piriá apresentaram os piores. O panorama demonstra que o Estado precisa investir em instrumentos de PP para melhorar o planejamento urbano, pois o crescimento populacional e o surgimento de novas áreas habitacionais não planejadas levam à diversos prejuízos humanos e ambientais. Por outro lado, o crescimento urbano ordenado e orientado pelo poder público minimiza o número de sub-habitações e erradica problemas sociais melhorando o acesso das populações mais vulneráveis aos bens e serviços garantindo Bem-Estar humano e ecossistêmico.

Palavras-chave: Barômetro da Sustentabilidade; *software*; Indicador; Municípios paraenses.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Evolução dos indicadores sociais	30
Figura 2 – Ciclo de vida de um projeto de política pública	31
Figura 3 – Exemplo do gráfico do BS	44
Figura 4 – Operações de transformação de dados	46
Figura 5 – Exemplo de <i>Pipes</i> e Filtros no Unix	50
Figura 6 – Representação esquemática dos componentes do <i>Pipe and Filters</i>	51
Figura 7 – Exemplo de um Diagrama de Casos de Usos	54
Figura 8 – Exemplo de um Diagrama de Atividades	56
Figura 9 – Comparação da ordem de redução entre <i>Lazy Evaluation</i> e <i>Strict Evaluation</i>	58
Figura 10 – Abstrações de tipos em R	60
Figura 11 – Carregando e analisando a estrutura de um <i>Dataframe</i>	61
Figura 12 – Níveis de abstração de dados em <i>Dataframes</i>	62
Figura 13 – Diagrama de Casos de Uso	73
Figura 14 – Diagrama de atividades	77
Figura 15 – Metodologia de implementação do Barômetro da Sustentabilidade	80
Figura 16 – Divisões territoriais do Pará	84
Figura 17 – Mapa temático com a classificação dos municípios do estado do Pará em diferentes dimensões.	91
Figura 18 – Gráfico do Bem-Estar obtido do Barômetro da Sustentabilidade das mesorregiões Paraenses.	95
Figura 19 – Gráfico do Barômetro da Sustentabilidade (BS) para a Região do Metropolitana de Belém.	98
Figura 20 – Mapa temático da mesorregião Metropolitana classificado por nível de Sustentabilidade na dimensão Ambiental.	100
Figura 21 – Mapa temático da mesorregião Metropolitana classificado por nível de Sustentabilidade na dimensão Social.	100
Figura 22 – Mapa temático da mesorregião Metropolitana classificado por nível de Sustentabilidade na dimensão Econômica.	101
Figura 23 – Mapa da Região do Marajó com a a classificação municipal.	103
Figura 24 – Mapa temático da mesorregião do Marajó classificado por nível de Sustentabilidade na dimensão Ambiental.	104
Figura 25 – Mapa temático da mesorregião do Marajó classificado por nível de Sustentabilidade na dimensão Social.	105
Figura 26 – Mapa temático da mesorregião do Marajó classificado por nível de Sustentabilidade na dimensão Econômica.	106
Figura 27 – Gráfico do BS para a Região do Baixo Amazonas.	107

Figura 28 – Mapa temático da mesorregião do Baixo Amazonas classificado por nível de Sustentabilidade na dimensão Ambiental.	108
Figura 29 – Mapa temático da mesorregião do Baixo Amazonas classificado por nível de Sustentabilidade na dimensão Social.	109
Figura 30 – Mapa temático da mesorregião do Baixo Amazonas classificado por nível de Sustentabilidade na dimensão Econômica.	110
Figura 31 – Gráfico do BS para a Região Nordeste Paraense.	112
Figura 32 – Mapa temático da mesorregião do Nordeste classificado por nível de Sustentabilidade na dimensão Ambiental.	113
Figura 33 – Mapa temático da mesorregião do Nordeste classificado por nível de Sustentabilidade na dimensão Social.	114
Figura 34 – Mapa temático da mesorregião do Nordeste classificado por nível de Sustentabilidade na dimensão Econômica.	115
Figura 35 – Gráfico do BS para a Região do Sudeste Paraense.	116
Figura 36 – Mapa temático da mesorregião do Sudeste classificado por nível de Sustentabilidade na dimensão Ambiental.	117
Figura 37 – Mapa temático da mesorregião do Sudeste classificado por nível de Sustentabilidade na dimensão Social.	118
Figura 38 – Mapa temático da mesorregião do Sudeste classificado por nível de Sustentabilidade na dimensão Econômica.	120
Figura 39 – Gráfico do BS para a Região do Sudoeste Paraense.	121
Figura 40 – Mapa temático da mesorregião do Sudoeste classificado por nível de Sustentabilidade na dimensão Ambiental.	122
Figura 41 – Mapa temático da mesorregião do Sudoeste classificado por nível de Sustentabilidade na dimensão Social.	123
Figura 42 – Mapa temático da mesorregião do Sudoeste classificado por nível de Sustentabilidade na dimensão Econômica.	124

Lista de tabelas

Tabela 1 – Análise comparativa de indicadores de sustentabilidade	23
Tabela 2 – Exemplo de aplicação do BS	41
Tabela 3 – Escala do Barômetro da Sustentabilidade	42
Tabela 4 – Exemplo de Escala de Desempenho Municipal	42
Tabela 5 – Memória de cálculo do exemplo	43
Tabela 6 – Resultado tabular do exemplo de aplicação	43
Tabela 7 – Resumo dos artigos incluídos e principais indicadores de sustentabilidade .	68
Tabela 8 – Quantidade de municípios por mesorregião que tiveram estudos de sustentabilidade considerados na revisão da literatura	69
Tabela 9 – Definição de variáveis incluídas	89
Tabela 10 – Número de municípios por nível de sustentabilidade e dimensão	92
Tabela 11 – Classificação das mesorregiões com número de municípios e indicador BS (quantitativo e qualitativo)	93
Tabela 12 – Matriz de correlação regional	96
Tabela 13 – Número de municípios por região e nível de sustentabilidade	96
Tabela 14 – Dez municípios com melhor indicador do BS	97
Tabela 15 – Dez municípios com pior desempenho em sustentabilidade, de acordo com o BS	97
Tabela 16 – Classificação municipal do Estado do Pará	130
Tabela 17 – Variáveis da dimensão Ambiental por município da região Metropolitana de Belém	139
Tabela 18 – Variáveis da dimensão Social por município da região Metropolitana de Belém	139
Tabela 19 – Variáveis da dimensão Econômica por município da região Metropolitana de Belém	140
Tabela 20 – Variáveis da dimensão Ambiental por município da região do Marajó comparado ao município de melhor desempenho no Estado.	141
Tabela 21 – Variáveis da dimensão Social por município da região do Marajó comparado ao município de melhor desempenho no Estado	141
Tabela 22 – Variáveis da dimensão Econômica por município da região do Marajó comparado ao município de melhor desempenho no Estado	142
Tabela 23 – Variáveis da dimensão Ambiental por município da região do Baixo Amazonas comparados ao município de melhor desempenho no Estado	143
Tabela 24 – Variáveis da dimensão Social por município da região do Baixo Amazonas comparados ao município de melhor desempenho no Estado	143
Tabela 25 – Variáveis da dimensão Econômica por município da região do Baixo Amazonas comparados ao município de melhor desempenho no Estado	144

Tabela 26 – Variáveis da dimensão Ambiental por município da região do Nordeste Paraense comparados ao município de melhor desempenho no Estado	146
Tabela 27 – Variáveis da dimensão Social por município da região do Nordeste Paraense comparados ao município de melhor desempenho no Estado	147
Tabela 28 – Variáveis da dimensão Econômica por município da região do Nordeste Paraense comparados ao município de melhor desempenho no Estado	148
Tabela 29 – Variáveis da dimensão Ambiental por município da região do Sudeste Paraense comparados ao município de melhor desempenho no Estado	149
Tabela 30 – Variáveis da dimensão Social por município da região do Sudeste Paraense comparados ao município de melhor desempenho no Estado	150
Tabela 31 – Variáveis da dimensão Econômica por município da região do Sudeste Paraense comparados ao município de melhor desempenho no Estado	151
Tabela 32 – Variáveis da dimensão Ambiental por município da região do Sudoeste Paraense comparados ao município de melhor desempenho no Estado	152
Tabela 33 – Variáveis da dimensão Social por município da região do Sudoeste Paraense comparados ao município de melhor desempenho no Estado	152
Tabela 34 – Variáveis da dimensão Econômica por município da região do Sudoeste Paraense comparados ao município de melhor desempenho no Estado	153

Lista de abreviaturas e siglas

ACV	Análise do Ciclo de Vida
AMC	Área Mínima de Comparação
BI	<i>Business Intelligence</i>
BPM CBOK	Guia de Gerenciamento de Processos de Negócio (<i>Business Process Management - Common Body Of Knowledge</i>)
BS	Barômetro da Sustentabilidade
BS	Barômetro da Sustentabilidade
CE	Critérios de Exclusão
CFC	Clorofluorcarboneto
CH₄	Metano
CI	Critérios de Inclusão
CNAE	Classificação Nacional de Atividades Econômicas
CO₂	Dióxido de Carbono
CQ	Critérios de Qualidade
DATASUS	Sistema de Dados e Informações do Sistema Único de Saúde
EBS	Escala do Barômetro da Sustentabilidade
EDM	Escala de Desempenho Municipal
ETL	Extração, Transformação e Carga (<i>Extract, Transform and Load</i>)
EWI	<i>Ecosystem Wellbeing Index</i>
FAPESPA	Fundação de Amparo a Estudos e Pesquisas
G20	Grupo das 20 maiores economias do mundo
GEE	Gases do Efeito Estufa
HWI	<i>Human Wellbeing Index</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
ICP	Índice de Capacidade Político-Institucional
IDC	Índice de Desempenho Competitivo
IDEB	Índice de Desenvolvimento da Educação Básica

IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IDHM	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
IEEE	Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos (<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>)
IISD	<i>International Institute for Sustainable Development</i>
INEP	Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IQA	Índice de Qualidade Ambiental
ITR	Imposto Territorial Rural
KDD	<i>Knowledge Discovery in Databases</i>
MDL	Mecanismos de Desenvolvimento Limpo
MESMIS	Marco para a Avaliação de Sistemas de Manejo de Recursos Naturais Incorporando Indicadores de Sustentabilidade
MFA	<i>Material Flow Accounts</i>
OCDE	Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
PAS	Pesquisa Anual de Serviços
PCA	Análise de Componentes Principais (<i>Principal Component Analysis</i>)
PIB	Produto Interno Bruto
PNAD	Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios
PNMC	Política Nacional de Mudanças Climáticas
PNPB	Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
PPCDAM	Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal
PP	Política(s) Pública(s)
PRODES	Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite
PR	Pergunta de Revisão
PR	Pergunta de Revisão
RCE	Reduções Certificadas de Emissões
RF	Requisito Funcional
RI	Regiões de Integração

RMB	Região Metropolitana de Belém
RNF	Requisito Não-Funcional
RSP0	<i>Roundtable on Sustainable Palm Oil</i>
SEEA	<i>System of Environmental-Economic Accounting</i>
SGBD	Sistema de Gerenciamento de Bancos de Dados
SIDRA	Sistema IBGE de Recuperação Automática
SISU	Sistema de Indicadores de Sustentabilidade Urbana
SQL	<i>Structured Query Language</i>
SUS	Sistema Único de Saúde
UC	Caso(s) de Uso (<i>Use Case</i>)
UML	<i>Unified Modeling Language</i>
UNFCCC	Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas
VAB	Valor Adicionado Bruto
WBI	<i>Well-Being Index</i>
WCED	<i>World Commission on Environment and Development</i>

Lista de símbolos

BS_x	Índice sintético (métrica) do Barômetro da Sustentabilidade municipal para uma variável (x).
DM_a	Limite inferior do nível de desempenho municipal na variável x .
DM_x	Valor da variável x auferido para um município.
DM_p	Limite superior do nível de desempenho municipal na variável x .
BS_a	Limite inferior do nível de sustentabilidade na escala do Barômetro da Sustentabilidade.
BS_p	Limite superior do nível de sustentabilidade na escala do Barômetro da Sustentabilidade.

Sumário

1	Introdução	19
1.1	Motivação	19
1.2	Justificativa	22
1.3	Objetivos	25
1.4	Estrutura do Documento	25
2	Referencial Teórico	28
2.1	A evolução dos Indicadores de Políticas Públicas	28
2.1.1	O que são Indicadores?	28
2.1.2	Políticas Públicas	32
2.2	Sustentabilidade e Desenvolvimento Sustentável	35
2.3	O Barômetro da Sustentabilidade	40
2.4	Extração, Transformação e Carga de Dados	44
2.5	Engenharia de <i>Software</i>	46
2.5.1	Conceito	46
2.5.2	Engenharia de Requisitos	47
2.5.3	Padrões Arquiteturais	48
2.5.4	Projeto de Sistemas	51
2.5.5	UML	51
2.5.5.1	Diagrama de Casos de Uso	52
2.5.5.2	Diagrama de Atividades	55
2.6	Programação Funcional	57
2.7	O Ambiente GNU R	59
3	Trabalhos relacionados	63
3.1	Avaliação da Sustentabilidade	65
3.1.1	BS e a Redução de Dimensionalidade	70
4	Software para Monitoramento do Desempenho de Sustentabilidade	72
4.1	Análise e Projeto do Sistema	72
4.2	Metodologia da aplicação	80
5	Estudo de caso	83
5.1	Caracterização do Território	83
5.1.1	Território	83
5.1.2	População e ocupação	84
5.1.3	Economia	85
5.1.4	Vegetação e Solo	87
5.1.5	Fontes de Dados do Estado do Pará	87
6	Resultados e Discussões	90

6.1	Análise de Sustentabilidade Regional	90
6.1.1	Análise por Região - Mesorregião Metropolitana de Belém	97
6.1.2	Análise por Região - Mesorregião do Marajó	102
6.1.3	Análise por Região - Mesorregião do Baixo Amazonas.	106
6.1.4	Análise por região - Mesorregião do Nordeste Paraense.	111
6.1.5	Análise por região - Mesorregião do Sudeste Paraense.	115
6.1.6	Análise por região - Mesorregião do Sudoeste Paraense.	120
7	Conclusão	125
7.1	Trabalhos Futuros	128
A	APÊNDICE I	130
A.1	Resultados tabulares dos municípios paraenses	130
B	APÊNDICE II	139
B.1	Resultados tabulares da Região Metropolitana de Belém	139
C	APÊNDICE III	141
C.1	Resultados tabulares da Região do Marajó	141
D	APÊNDICE IV	143
D.1	Resultados tabulares da Região do Baixo Amazonas	143
E	APÊNDICE V	146
E.1	Resultados tabulares da Região do Nordeste Paraense	146
F	APÊNDICE VI	149
F.1	Resultados tabulares da Região do Sudeste Paraense	149
G	APÊNDICE VII	152
G.1	Resultados tabulares da Região do Sudoeste Paraense	152
	Referências	154

1 Introdução

1.1 Motivação

Sustentabilidade é um conceito chave para o desenvolvimento no século XXI, seja no contexto humano ou econômico, seja no cenário nacional ou mundial. No desenvolvimento sustentável, reside a capacidade de produzir valor, respeitando os limites da natureza e as condições culturais envolvidas, num processo capaz de suprir as necessidades da geração atual, sem, no entanto, comprometer a capacidade de atender as necessidades das gerações futuras (IMPERATIVES, 1987). Diferentemente da ideia de desenvolvimento que predominava no século XX, o desenvolvimento puramente econômico, os tempos atuais exigem a consciência de que os recursos naturais, como insumos dos processos produtivos, são limitados; o processo produtivo deve ser responsável e humanizado; e o valor gerado não pode ser apenas econômico, mas deve ser revertido para a manutenção de todo o ecossistema que sustenta a atividade econômica, tanto pela redução dos impactos ambientais como pela valorização e incentivo da cultura local.

Apesar de a sustentabilidade ser definida como um caminho para um estado de bem-estar (*welfare state*), o que vem sendo debatido desde a década de 1920, a temática só ganhou vulto com as discussões acerca da questão climática, na cúpula da *World Commission on Environment and Development* (WCED), organismo da Organização das Nações Unidas (ONU). A preocupação com o clima do planeta acendeu um alerta em relação ao risco de fenômenos meteorológicos catastróficos para a vida na Terra, assim como gerou um sobreaviso acerca de uma catástrofe econômica em relação à imprevisibilidade climática para a manutenção da produção de alimentos (ONU, 2017). Cada vez mais frequentes, esses eventos climáticos atingem a todos os habitantes do planeta, no entanto, afetam de maneira mais contundente aqueles que vivem em países subdesenvolvidos ou em desenvolvimento (ONU, 2017).

Nesse contexto, ficou evidente que o desenvolvimento econômico, que se deu de maneira desenfreada a partir da Revolução Industrial com a exploração irresponsável dos recursos ambientais, aliado a diversas estratégias capitalistas de globalização dos mercados, pode se tornar danoso ao planeta (PEREIRA et al., 2017, p. 17) (JR; CARBOGIN, 2012, p. 10). Além disso, desde os últimos séculos, o desenvolvimento econômico desenfreado e irresponsável se mostrou incapaz de garantir o bem-estar dos povos, ou seja, recursos naturais que antes representavam patrimônio natural coletivo (ROCHA; BRAGANÇA, 2022, p. 5) (BRASIL, 1988, Art. 225), após exploração e beneficiamento, reduziriam-se a patrimônios particulares de poucos, aumentando a desigualdade econômica e social pela apropriação de riquezas monetárias, enquanto relega os problemas inerentes a essa exploração aos já desfavorecidos no processo.

Tal sina, repetida em várias escalas e por diferentes atores, amplificou a compreensão de

que esse tipo de desenvolvimento é insustentável para a vida humana como espécie no planeta — considerando que um dia os recursos naturais acabarão — como também para a vida humana em sociedade, tendo em vista que a desigualdade econômica gera patologias sociais que impedem o bem-estar humano. Portanto, a discussão sobre sustentabilidade, ou desenvolvimento sustentável, compreende o conjunto de práticas que equilibram as diversas dimensões da vida humana no planeta, por exemplo, ambiental, social, econômica, institucional etc., de modo a garantir que as gerações atuais atendam as suas necessidades sem comprometer a capacidade de gerações futuras usufruírem dos mesmos recursos naturais e humanos.

Para minimizar danos históricos, o comprometimento de organizações internacionais multilaterais como a [ONU](#), o Grupo das 20 maiores economias do mundo ([G20](#)), a Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico ([OCDE](#)), entre outras, se deu na forma de agendas que promovem o desenvolvimento sustentável, como a Rio-92, o Protocolo de Quioto, a Agenda 2030 e a Nova Agenda Urbana. Essas ações ajudaram a materializar algumas metas de desenvolvimento sustentável e se tornaram mecanismos de proteção do meio ambiente, do clima e das sociedades.

Para concretizar o que foi planejado, as metas devem ser acompanhadas por métricas justas, confiáveis e factíveis para todos os estados, pois a ausência de métricas eficientes e padronizadas na medição da sustentabilidade provoca desordens do ponto de vista do acompanhamento dos fenômenos associados ao desenvolvimento sustentável, em face ao ambiente colonizado por dipolos narrativos ([BARTELMUS, 2002](#)), isto é, de um lado, há ambientalistas trabalhando com métricas físicas (toneladas de Dióxido de Carbono ([CO₂](#)) na atmosfera, concentração de Metano ([CH₄](#)), área desmatada, focos de calor etc.), enquanto, de outro, há economistas que tentam impor métricas de desenvolvimento sintéticas com viés econômico como o Produto Interno Bruto ([PIB](#)), por exemplo.

Atualmente, estamos vivendo um novo ponto de inflexão na história do desenvolvimento sustentável: vemos a sustentabilidade se tornar um ativo de mercado rentável, tanto do ponto de vista comercial (normas, certificações e consultorias), da economia do conhecimento, dos mercados de carbono e do capitalismo de vigilância e suas outras mutações ([GAMA, 2021](#)), quanto do ponto de vista do capital político e institucional ([CASTRO; CAMPOS; TREVISAN, 2018](#)). Logo, é importante se manter atento para avaliar continuamente o papel de todos os agentes e como eles monitoram a sustentabilidade em suas próprias esferas de atuação.

De fato, o desenvolvimento sustentável não será plenamente incorporado nas agendas internas se este não for vinculado a outros mecanismos econômicos e políticos. Assim, os órgãos internacionais de avaliação de risco, de financiamento de projetos, os bancos internacionais e os blocos políticos precisam considerar a substituição de indicadores puramente econômicos por indicadores de desenvolvimento sustentável, a fim de motivar sua adoção. Em contrapartida, os estados nacionais podem e devem criar condições para a implantação desses indicadores em avaliações de desempenho de estados subnacionais, seja para a destinação de recursos ou para

projetos de Política(s) Pública(s) (PP).

Além dos desafios de implantação, diversos trabalhos presentes na literatura (KRONEMBERGER et al., 2008; CETRULO; MOLINA; MALHEIROS, 2013; CARDOSO; TOLEDO; VIEIRA, 2014; AMORIM; ARAÚJO; CÂNDIDO, 2014) discutem que, independente do indicador de sustentabilidade adotado para aplicação, ainda existem dificuldades técnicas relacionadas à obtenção de dados, o que limita a abrangência de pesquisas sobre o assunto e a uniformização de metodologias aplicadas (BELLEN, 2005). Desse modo, existe a lacuna da ausência de uma ferramenta computacional que auxilie no provimento organizado de dados de entrada para a realização do cálculo automatizado do Barômetro da Sustentabilidade (BS)¹.

O Barômetro da Sustentabilidade é um indicador versátil e simples que pode ser adaptado a diferentes realidades. Pode ser usado para medir o desempenho de um país ou de uma organização privada. Sua análise pode se dar por meio de uma métrica simples e uniforme, permitindo análise temporal, de uma única organização, ou mesmo pareada, incluindo outras entidades. Pode também se dar de maneira visual, possibilitando a exploração por meio de seus gráficos em níveis/escalas de desempenho em dois eixos de análise, sendo eles: o eixo de bem-estar humano e o eixo de bem-estar ecossistêmico.

Uma das principais contribuições do BS para a avaliação e monitoramento da sustentabilidade reside no aspecto conceitual, pois ele confere uma dimensão holística ao tema em função das diferentes interpretações que o termo assumiu ao longo do tempo. Além disso, o BS orienta para a utilização de variáveis que afetam diretamente a vida das pessoas no ambiente em que vivem. Desse modo, o BS ajuda a compreender a sustentabilidade de uma região ou organização como um fenômeno que pode ser decomposto em diferentes eixos, dimensões, temas, aspectos (variáveis) podem ser usadas no planejamento de PP adequadas.

Com o intuito de compreender como a sustentabilidade vem sendo tratada e como a sua conceituação implica na avaliação de diferentes PP no estado do Pará, somos levados ao desafio de identificar na literatura pesquisas que tratem de indicadores de sustentabilidade aplicados nos municípios paraenses e que discutam e correlacionem os resultados de forma compreensiva a partir de trabalhos relativos à temática da sustentabilidade, investigando suas variáveis, dimensões, conclusões. Com isso, fazendo críticas para a melhoria dos índices e oportunizando a geração de PP com vistas ao contexto municipal. Ao passo que forneçam propostas de soluções para alguns dos principais desafios no processo de aquisição e tratamento de dados para o nível de estratificação territorial municipal, oferecendo também o ferramental tecnológico para o processamento e visualização dos resultados.

¹ Barômetro da Sustentabilidade (BS): um indicador de sustentabilidade que pode ser incorporado a sistemas gerenciais e analíticos de modo a mitigar e minimizar algumas das problemáticas identificadas.

1.2 Justificativa

De acordo com [Elkington \(1998\)](#) e [Sachs \(2000\)](#), a avaliação da sustentabilidade de um território deve ser realizada levando em consideração diferentes dimensões, tais como meio ambiente, saúde, educação, entre outras.

[Braga et al. \(2004\)](#) destacam que a avaliação do índice de sustentabilidade está associada ao uso de dados confiáveis. Estudos pioneiros de aplicação de metodologias de mensuração de indicadores de sustentabilidade no Brasil ([KRONEMBERGER, 2003](#); [KRONEMBERGER; CARVALHO; JUNIOR, 2004](#)) utilizam informações oficiais fornecidas por organizações governamentais, como Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística ([IBGE](#)), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais ([INPE](#)), Sistema de Dados e Informações do Sistema Único de Saúde ([DATASUS](#)), além daquelas providas pela administração local do território estudado ([CARDOSO; TOLEDO; VIEIRA, 2014](#)). Tal desconcentração de dados não garante a comunicação direta, facilitada e rápida entre as diferentes bases de dados presentes na estrutura do Estado brasileiro ([BELLEN, 2005](#)).

No que diz respeito às fontes de dados, usualmente disponibilizam os recursos em páginas de Acesso à Informação como mecanismo de transparência ativa. Enquanto outros utilizam sistemas de *Business Intelligence* ([BI](#)), por exemplo, o Sistema IBGE de Recuperação Automática ([SIDRA](#)), sistema do [IBGE](#) para recuperação de dados agregados, retabulados conforme a preferência do usuário. Tal diversificação pode ser classificada como descentralizada, gerando o desafio aos pesquisadores no que diz respeito à coleta dos dados para a realização de cruzamentos com outras informações para análises mais complexas. Além disso, em relação ao quesito tecnológico, existe a problemática associada à estrutura de armazenamento, a qual pode variar de acordo com escala, tipos de variáveis, formatos e organização de metadados. Por exemplo, o banco de dados do [DATASUS](#) (Ministério da Saúde) pode apresentar diferenças significativas em relação ao [SIDRA](#) ([IBGE](#)), associadas às metodologias de coleta, granularidade, erros de cadastro, subnotificação, entre outros ² ([DIOGENES et al., 2021](#); [GTISP, 2013](#)).

Para [Braga et al. \(2004\)](#), avaliar a sustentabilidade considerando diferentes conjuntos de dados pode gerar capital intelectual relevante para a tomada de decisões em relação a criação de [PP](#). Além disso, [Conti et al. \(2019\)](#) destacam que, por conta da ausência de uma automatização para obtenção dos dados de diferentes fontes, ainda existem poucos municípios que contam com estudos ou análises técnicas da sua situação em relação à sustentabilidade, o que gera entraves e lentidão na aplicação de ações que visem garantir o direito a serviços, a sustentabilidade e a preservação do meio ambiente.

Além de coletar os dados, outro desafio posto é o de selecionar o método de avaliação de

² A produção dos dados primários do [DATASUS](#) se dá a partir de Sistemas de Informações em Saúde/Registros Eletrônicos em Saúde ([RES](#)), possuindo complexidades próprias de conciliação de vários desses sistemas em uma rede continental de prestadores de serviços de saúde, em que a ocorrência de erros de sobreposição, inconsistência ou compatibilização são inevitáveis. ([GTISP, 2013](#), p. 7 - 8)

sustentabilidade mais aderente à realidade brasileira. Para isso, [Conti et al. \(2019\)](#) fizeram uma revisão na literatura com o objetivo de comparar os três métodos de avaliação de sustentabilidade mais adotados no Brasil: Barômetro da Sustentabilidade, Pegada Ecológica e Painel da Sustentabilidade. Ao final da investigação, os autores concluíram que o Barômetro da Sustentabilidade se destaca como o mais frequente em estudos de mensuração da sustentabilidade, além de ser um dos mais relevantes ([BELLEN, 2005](#); [PEREIRA et al., 2017](#)). Para ilustrar os resultados obtidos pelos pesquisadores, a Tabela 1 apresenta uma comparação entre os três métodos e suas principais características.

Tabela 1 – Análise comparativa de indicadores de sustentabilidade

Categoria de Análise	Ecological Footprint Method	Dashboard of Sustainability	Barometer of Sustainability
Dados	Quantitativo	Quantitativo	Quantitativo
- Tipologia	Altamente agregado	Altamente agregado	Altamente agregado
- Agregação	<i>Top-Down</i>	Mista	Mista
Abordagem			
Interface			
- Complexidade	Elevada	Mediana	Mediana
- Apresentação	Simple	Simple. Recursos Visuais.	Simple. Recursos Visuais
- Abertura	Reduzida	Mediana - Alta	Mediana - Baixa
- Potencial Educativo	Forte impacto sobre o público-alvo. Ênfase na dependência dos recursos naturais	Maior impacto sobre os tomadores de decisão. Representação visual.	Maior impacto sobre os tomadores de decisão. Representação visual.

Fonte: Adaptado de [Bellen \(2005\)](#).

Conforme é possível observar, o Barômetro da Sustentabilidade e o Painel da Sustentabilidade possuem os maiores números de características para verificação de sustentabilidade em nível local e regional. Apesar do Painel da Sustentabilidade demonstrar uma ligeira vantagem na avaliação de [Bellen \(2005\)](#), o Barômetro da Sustentabilidade é mais usado por facilidade de implementação ([BELLEN, 2005](#); [ROHAN](#); [BRANCO](#); [SOARES, 2018](#)).

As categorias de análise apresentadas por [Bellen \(2005\)](#) buscam avaliar: a tipologia dos dados se refere aos tipos de dados que são manipulados podendo ser qualitativo ou quantitativo. A agregação de dados diz respeito à capacidade de um indicador ser decomposto em subíndices, que poderiam facilitar a adoção de medidas de correção. Já a complexidade da interface está relacionada a facilidade de aplicação do indicador. Da mesma forma, a apresentação está relacionada a facilidade de visualização e entendimento. Nesse contexto, a abertura expressa a transparência quanto aos mecanismos internos (subíndices, variáveis etc.). Por fim, o potencial educativo reflete o quanto a ferramenta pode sensibilizar os atores sobre os principais dilemas envolvidos.

A partir das problemáticas e dada a importância da temática, é válido investigar soluções baseadas em *software* que possam automatizar a obtenção de indicadores presentes em diferentes fontes de dados, assim como capazes de realizar a coleta, tratamento, pré-processamento, processamento e disponibilização de variáveis e índices organizados para o cálculo do Barômetro da Sustentabilidade. Desse modo, permitindo a realização de análises automatizadas.

Existe ainda a lacuna que diz respeito à pesquisas que façam análises sobre índices de sustentabilidade a nível municipal aplicados à uma determinada região ou unidade da federação. Por isso, a necessidade de uma análise mais abrangente no Estado do Pará utilizando o BS, como uma alternativa para o monitoramento do panorama de desenvolvimento sustentável dos seus territórios, sobretudo para diversos municípios ainda não privilegiados por tais análises. Além disso, de acordo com o melhor conhecimento, ainda não existe uma ferramenta automatizada que permita calcular e disponibilizar o nível de sustentabilidade.

É válido reforçar que indicadores de sustentabilidade carecem de dados que estão desconcentrados (BRAGA et al., 2004), acarretando em dificuldades para o monitoramento e geração desses indicadores de maneira contínua, tanto por pesquisadores, quanto por técnicos de prefeituras e governos estaduais. Para resolver o problema dos dados desconcentrados, existe a necessidade do desenvolvimento de um conjunto de ferramentas que atue no processo de geração do BS fim-a-fim³ como solução para viabilizar o efetivo monitoramento da sustentabilidade.

De modo complementar, Pereira et al. (2017)[p. 36] destacam o problema da frequência de disponibilização indicadores, parte deles disponibilizados anualmente, outros decenalmente etc., de modo a exigir esforço de harmonização ao combinar bases de dados de diferentes frequências. Tal situação pode gerar alguns problemas: 1) a defasagem em relação à dinâmica política e territorial das regiões analisadas. Exemplo disso, é quando ocorrem desmembramentos territoriais que ensejam a criação de municípios gerando uma aparente inconsistência, dado que o município que perdeu território sofrerá também uma redução nos seus indicadores, enquanto, o novo município surgirá na base de dados sem informações precedentes naquela série histórica⁴. 2) dificuldade de agregação de variáveis. Situação que ocorre quando se deseja trabalhar com uma granularidade diferente da que foi originalmente fornecida. Há variáveis que não toleram muito bem funções de agregação (soma, média, produto etc), normalmente aquelas que representam taxas ou valores médios.

Outro fator a ser levado em consideração diz respeito a alta subjetividade envolvida no processo de seleção e tratamento dos dados, sendo apontada como uma dificuldade para o monitoramento da sustentabilidade (MARTINS; CÂNDIDO, 2015; VIEIRA, 2019).

Embora a presença dos desafios, vale ressaltar que soluções de *software* são usadas há bastante tempo como um eficiente mecanismo de redução da subjetividade de processos de decisão (FILHO et al., 2021; MARQUES, 2019). Além disso, o processo de Extração, Transformação e Carga (*Extract, Transform and Load*) (ETL) também figura como um padrão proposto para o desafio de redução da subjetividade na geração do indicador. Portanto, as problemáticas encontradas na pesquisa bibliográfica e que este trabalho tenta sanar são:

1. No Pará, poucos municípios contam com estudos ou análises técnicas da sua situação em

³ Que atua de uma ponta à outra no processo. No caso, em um fluxo de análise de dados refere-se ao que atua desde a coleta dos dados até a aplicação de técnicas de visualização da informação ou produção de conhecimento.

⁴ *Missing values* ou Dados ausentes

- relação à sustentabilidade (CONTI et al., 2019; VALE et al., 2020);
2. Existem diversas dificuldades de coleta de dados em diferentes fontes de dados e com diferentes granularidades (OLIVEIRA; OLIVEIRA; CARNIELLO, 2015; BELLEN, 2005);
 3. Não existe um padrão para seleção e análise das variáveis e do indicador de sustentabilidade (OLIVEIRA; OLIVEIRA; CARNIELLO, 2015; BELLEN, 2005).

1.3 Objetivos

Este trabalho de dissertação tem como objetivo principal propor uma solução baseada em software capaz de computar o impacto do Barômetro da Sustentabilidade (BS) no que diz respeito às dimensões ambiental, social e econômica.

São objetivos específicos deste trabalho:

- Produzir uma compreensiva revisão da literatura que trate sobre os principais indicadores de sustentabilidade aplicados aos municípios paraenses.
- Desenvolver um *software* que faça tratamentos e validações necessários para fornecer o valor do Barômetro da Sustentabilidade calculado para municípios paraenses.
- Investigar o impacto do Barômetro da Sustentabilidade no que diz respeito às mesorregiões e cidades paraenses.
- Investigar quais são os parâmetros que mais influenciam os índices de sustentabilidade das cidades paraenses.
- Propor um levantamento das principais mazelas presentes nos municípios paraenses no que diz respeito aos itens avaliados pelo BS e oferecer soluções pontuais e pragmáticas para os principais desafios encontrados na investigação.

1.4 Estrutura do Documento

Este trabalho está organizado da seguinte forma:

No capítulo 1, apresenta-se as principais motivações e objetivos para o desenvolvimento do trabalho, tentando justificar a necessidade de empreender esforço técnico e intelectual para desenvolver ferramentas computacionais que possam impulsionar as agendas de sustentabilidade, tendo em vista que os efeitos adversos do desenvolvimento desbalanceado e não sustentado trazem prejuízos globais e afetam sobremaneira as pessoas mais pobres. Acredita-se que bons indicadores de sustentabilidade e ferramentas eficientes de análise ajudarão gestores e tomadores de decisão à corrigirem o curso do desenvolvimento de suas respectivas organizações.

O capítulo 2 oferece o *background* para a compreensão do trabalho e do alcance pretendido. Um projeto de computação aplicada deve apropriar-se dos conceitos no domínio do problema para tentar prover soluções eficazes. Por isso, o capítulo apresenta as definições mais pertinentes sobre PP, uma vez que os esforços empreendidos só serão efetivamente úteis se forem implementados de maneira coordenada na sociedade. Tendo em vista que PP precisam ser planejadas, projetadas e monitoradas, nesse sentido, os indicadores são, em muitos casos, uma das poucas formas de *feedback* que gestores possuem para avaliar a efetividade de projetos. Também se discute a questão da sustentabilidade e de seus conceitos dominantes para perceber que indicadores desse tipo muitas vezes extrapolam a capacidade humana de percepção, tendo em vista que são anacrônicos e de efeito local e global, por isso, mostram-se como bons indicadores de sustentabilidade precisam ser holísticos.

O capítulo 3 traz os trabalhos relacionados ao BS e suas aplicações e resultados reportados na literatura. O capítulo é importante para observar que a abrangência de municípios monitorados é baixa e com poucas semelhanças entre si, em termos de indicadores, variáveis e métodos de coleta de dados. Essa situação, portanto, pode dificultar futuras análises em painel em relação ao desenvolvimento sustentável regional.

No capítulo 4, são apresentados os aspectos técnicos de modelagem e implementação da ferramenta para computação do Barômetro da Sustentabilidade em *software*: requisitos levantados, principais modelos, fluxos e principais recursos da ferramenta.

O capítulo 5 apresenta os detalhes do estudo de caso em que a ferramenta desenvolvida é aplicada e testada. As variáveis utilizadas são, na sua grande maioria, baseadas nas variáveis também encontradas em outros trabalhos avaliados no capítulo 3, para mantermos uma padronização com os trabalhos anteriores. O estudo de caso, além de servir como prova de conceito do *software*, ainda ajuda a cumprir os objetivos específicos do trabalho, no sentido de fornecer o indicador para municípios paraenses que não tinham nenhuma análise de sustentabilidade publicada.

O capítulo 6 discute os resultados do estudo de caso, apresentando as análises a nível estadual, regional e municipal, sob o prisma das três dimensões usadas: econômica, ambiental e social. Também se discute e demonstra como a ferramenta desenvolvida foi importante para o alcance dos resultados e, até o alcance das limitações, para sugerir, com base nos dados e na literatura, possíveis caminhos para o desenvolvimento sustentável do Estado. Importante destacar que não é um objetivo do trabalho trazer total compreensão em relação aos fenômenos envolvidos, aprofundar-se em questões sociológicas ou, ainda, apontar causalidades, mas sim ampliar o panorama da computação aplicada, trazendo possibilidades de uso de recursos tecnológicos para o aperfeiçoamento de indicadores de sustentabilidade, análise de dados/ciência de dados e visualização da informação.

O capítulo 7 conclui o trabalho apresentando os principais achados, contribuições e oportunidades para trabalhos futuros.

Na sessão de apêndices, são fornecidos outros artefatos gerados durante o desenvolvimento do *software* e do estudo de caso, sobretudo as tabelas que apresentam os resultados detalhados por município, dimensão e variáveis.

2 Referencial Teórico

Para melhor compreensão deste trabalho, neste capítulo serão apresentados, de maneira mais detalhada, alguns conhecimentos envolvidos no monitoramento da sustentabilidade, tais como indicadores e as conceituações predominantes que envolvem a sustentabilidade como temática. Em seguida, serão discutidos conceitos de engenharia de *software* e as ferramentas utilizadas no desenvolvimento do trabalho.

2.1 A evolução dos Indicadores de Políticas Públicas

Nesta seção vamos entender melhor como se definem dois conceitos centrais para este trabalho: indicadores e Política(s) Pública(s) (PP).

Veremos o que são indicadores, como podem ser classificados e como evoluíram historicamente até suas recentes utilizações na formulação, acompanhamento e avaliação de projetos desenvolvidos nos contextos de PP, conceito a respeito do qual serão definidas as principais abordagens, atores, propósitos e ciclo de desenvolvimento.

2.1.1 O que são Indicadores?

Com frequência, indicadores são entendidos como métricas, variáveis ou metas, e mesmo que, em alguns casos, possam ser usadas de forma intercambiável e sem grandes prejuízos para a compreensão, a definição de tais conceitos é fundamental para alcançar qualidade de informação e para fazer bom uso de processos de medição de desempenho, conforme as boas práticas de qualidade da informação (WANG; STOREY; FIRTH, 1995).

De acordo com Moore et al. (2013), no Guia de Gerenciamento de Processos de Negócio (*Business Process Management - Common Body Of Knowledge*) (BPM CBOK) 3¹, a medição de desempenho envolve o trabalho de captura de medidas, criação de métricas, indicadores e interpretação dos resultados. Portanto, a medição do desempenho exige a capacidade de medir e interpretar o fenômeno de modo multidimensional, envolvendo tempo, custo, capacidade e qualidade.

A medição é definida como a quantificação de dados em um padrão e em uma qualidade aceitáveis (exatidão, completude, consistência e temporalidade), desse modo, é um dado localizado e crônico, que diz respeito a uma ou mais dimensões físicas de um fenômeno. Ainda segundo o BPM CBOK 3, métrica é uma extrapolação de medidas, isto é, uma conclusão com

¹ O *Common Body Of Knowledge - CBOK* é a publicação da *Association of Business Process Management Professionals* (ABPMP). O capítulo 6 da publicação traz a terminologia empregada no contexto de Gerenciamento de Desempenho de Processos de Negócio.

base em dados finitos, ou seja, entende-se que a métrica representa uma informação derivada da medida. Por fim, indicador é definido pelo [BPM CBOK 3](#) como uma representação de forma simples ou intuitiva de uma métrica para facilitar sua interpretação quando comparada a uma referência ou alvo, desse modo, tendo em vista que as métricas são índices quantitativos, o indicador tem um caráter qualitativo capaz de induzir a conclusões assertivas sobre o fenômeno estudado.

[Bellen \(2005\)](#) sugere que o principal objetivo dos indicadores é o de agregar e quantificar um fenômeno tornando-o mais aparente. Nesse sentido, indicadores são ferramentas pedagógicas que simplificam fenômenos complexos e facilitam o processo de entendimento e comunicação e "se referem fundamentalmente a valores estabelecidos ou desejados pelas autoridades governamentais ou obtidos por um consenso social" ([BELLEN, 2005](#), p. 31). Já as metas, fazem parte de um processo gerencial e são definidas em função dos objetivos da organização para uma ou mais métricas dentro de um período determinado. As métricas são comumente quantitativas, enquanto indicadores são quantitativos e qualitativos.

De acordo com a [ABNT \(2021, p. 4\)](#), indicador também pode ser definido como um "parâmetro quantitativo ou qualitativo que permite avaliar, de forma objetiva e não ambígua, as características do ecossistema florestal ou do sistema social relacionado, ou que descreve elementos do manejo florestal e dos processos produtivos conduzidos nesse ecossistema". Torna-se interessante notar que a referida norma estabelece uma estrutura hierárquica composta por princípios, critérios e indicadores como um sistema de referência para o manejo florestal sustentável, sendo os princípios desdobrados em critérios e estes a síntese de requisitos associados a um ecossistema florestal. Do mesmo modo, a eficácia dos critérios será auferida com base na avaliação dos indicadores dele derivados, que podem ser quantitativos ou qualitativos.

Em relação ao processo de criação de indicadores, a literatura apresenta a iniciativa do *International Institute for Sustainable Development (IISD)*, em 1996, quando um grupo de pesquisadores se reuniram em Bellagio, na Itália, para definir e sistematizar as diretrizes para a criação de indicadores holísticos² capazes de avaliar o desenvolvimento sustentável. Como resultado, sintetizaram 10 diretrizes que ficaram conhecidas como os "Princípios de Bellagio", em referência à cidade que sediou o encontro ([OLIVEIRA; CURI, 2018; SARTORI; SILOTO, 2013](#)). Os princípios são:

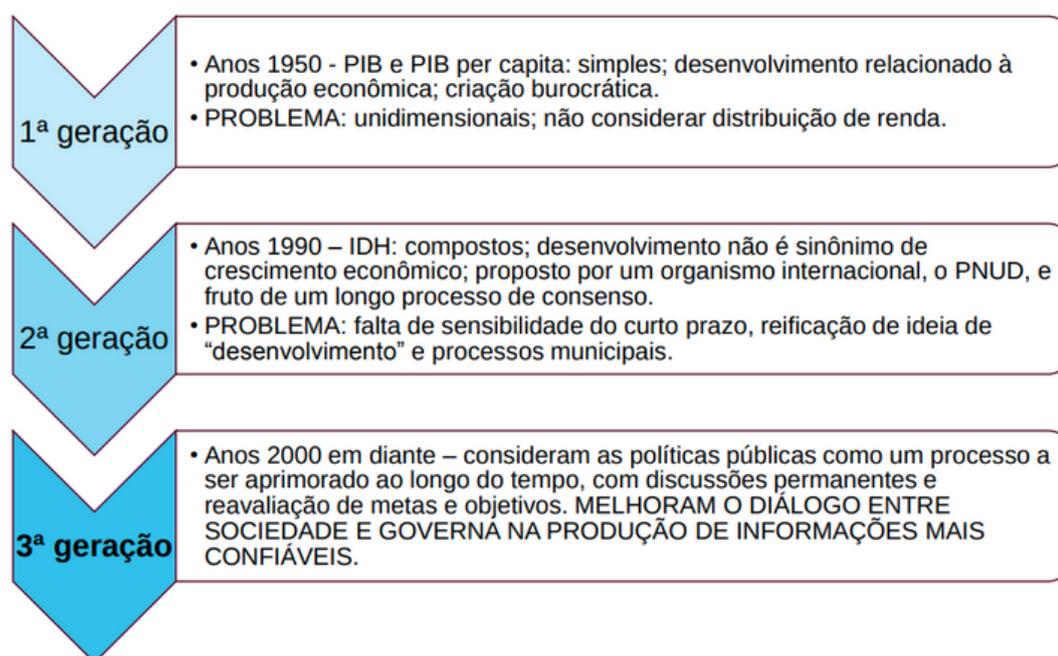
- | | |
|-------------------------------------|-------------------------------|
| (I) Visão e objetivos orientadores; | (II) Perspectiva holística; |
| (III) Elementos essenciais; | (IV) Âmbito adequado; |
| (V) Foco prático; | (VI) Abertura; |
| (VII) Comunicação eficaz; | (VIII) Ampla participação; |
| (IX) Avaliação contínua; | (X) Capacidade institucional. |

² De acordo com o dicionário Oxford, o termo é relativo a holismo; que busca um entendimento integral dos fenômenos; holista.

Esses princípios passaram a ser usados para guiar e avaliar a melhor escolha de indicadores, bem como sua utilização, interpretação e comunicação. (SARTORI; SILOTO, 2013)

Indicadores podem ser classificados de maneira evolutiva, como proposto por [Guimarães e Jannuzzi \(2005\)](#) enquanto estudavam a efetividade do Índice de Desenvolvimento Humano (IDH). Os autores constataram que os indicadores de Primeira Geração são aqueles que medem essencialmente dados econômicos, e historicamente pretendiam medir e comparar os países e seu desenvolvimento no pós-guerra. Como principal ícone dessa geração, temos o PIB e PIB *per capita*, muito populares na década de 1950. Já os de Segunda Geração, incorporaram um viés social, tendo em vista a ineficácia dos indicadores de Primeira Geração em quantificar o bem-estar humano. Nesse sentido, foram adensadas a um único indicador componentes econômicas e sociais, com o intuito de capturar a evolução das condições de vida. Dessa geração, o mais icônico representante é o IDH, surgido na década de 1990, composto por componentes que mensuram renda, longevidade e educação. Por fim, a Terceira Geração de indicadores inclui os híbridos, que computam, de maneira criativa, a essência das duas gerações, criando indicadores sintéticos mais adaptáveis. Toda essa evolução é ilustrada pela Figura 1.

Figura 1 – Evolução dos indicadores sociais

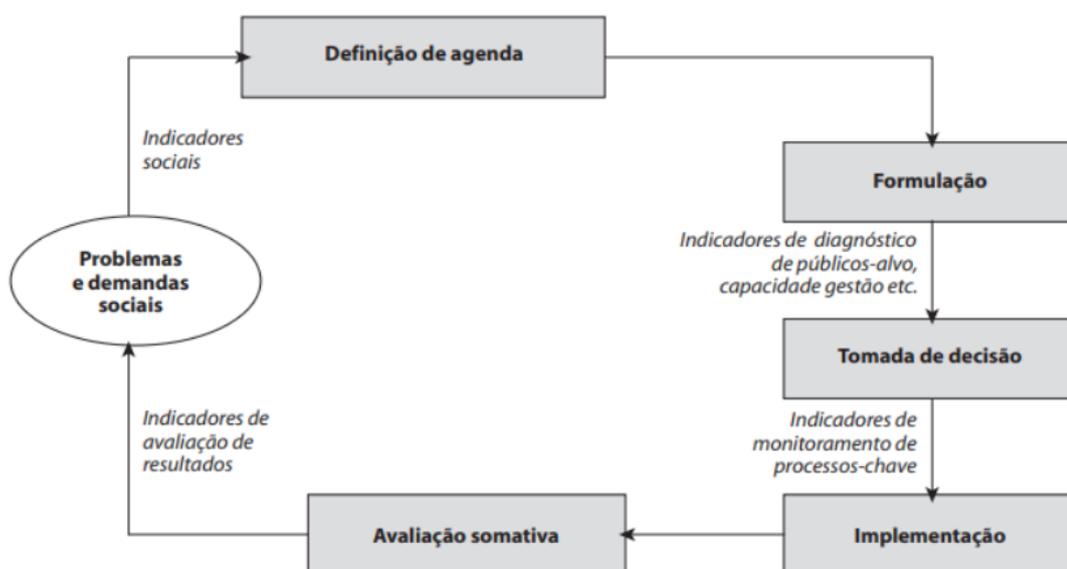


Fonte: (LEITE, 2020)

Os indicadores sociais e as metodologias usadas para sua construção são importantes instrumentos para implantação de indicadores de desenvolvimento sustentável, por conta da sua maturidade e eficiência largamente testadas em políticas públicas de vários países. Na percepção de [Bellen \(2005\)](#), indicadores de sustentabilidade precisam ser cientificamente válidos, considerando o processo de medição, recursos empregados, técnicas ou métodos coerentes e

academicamente aceitos, de modo a permitir que sejam sempre revisados e modernizados dentro de um processo de gestão. No entanto, [Guimarães e Jannuzzi \(2005\)](#) observaram que indicadores sintéticos podem partir de hipóteses arbitrárias, empregando métodos e práticas estatísticas pouco apoiadas em alguma teoria ou marco metodológico consistente. No caso do IDH³, por exemplo, questiona-se que sentido teria somar a expectativa de vida com a alfabetização⁴, o porquê de as três dimensões serem mais representativas para medir a qualidade de vida⁵; e, ainda, qual a razão de os fatores terem ponderações equitativas. Tais questões expõem que nem sempre é possível — ou viável — partir de bases científicas sólidas, mas, em alguns casos, é possível iniciar a medição e avaliação de certos fenômenos partindo de algumas convergências, na esperança de sofisticá-las depois, sobretudo nas ciências humanas e sociais. Nessa perspectiva, também podemos identificar indicadores sintéticos de desenvolvimento sustentável construídos sobre hipóteses igualmente abstratas, mas que são eficazes para o propósito de quantificar e qualificar o nível de sustentabilidade.

Figura 2 – Ciclo de vida de um projeto de política pública



Fonte: (JANNUZZI, 2017)

Para [Jannuzzi \(2017\)](#), os indicadores também podem ser escolhidos e definidos por fases, orientados pelo ciclo de vida do projeto ou da PP, conforme ilustrado na Figura 2. Neste caso, os indicadores sociais usados na primeira etapa do ciclo refletem fatores que vocalizam adequadamente as necessidades mais urgentes da sociedade organizada e devem ser lidos como

³ O Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) é um indicador criado pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD). O IDH é considerado baixo quando a métrica é inferior a 0,5; IDH médio, com a métrica variando entre 0,5 e 0,799; IDH alto, quando a métrica estiver entre 0,8 a 0,899; e IDH muito alto quando o índice ou métrica for superior a 0,9.

⁴ O indicador analisa três dimensões de qualidade de vida: Saúde (IDH_S); Educação (IDH_E); e Renda (IDH_R). Matematicamente, o indicador é definido como a média aritmética $IDH = (IDH_S + IDH_E + IDH_R)/3$.

⁵ O IDH_S se propõe capturar a possibilidade de uma vida longa e saudável; o IDH_E se propõe capturar o acesso à educação e cultura; enquanto o IDH_R se propõe medir o padrão de renda.

metas prioritárias dos governos, tais como: fome, baixo desempenho na educação, desigualdade social, entre outros que possam definir a agenda política. Na segunda etapa do exemplo dado pelo autor, a formulação, são necessários indicadores temáticos que orientem o formato da oferta dessa **PP**, considerando os grupos prioritários a serem atendidos e a estratégia de implementação. Já na terceira etapa, a tomada de decisão deve incluir a ideia político-governamental definindo os sujeitos envolvidos e a capacidade de gestão dos agentes. Na quarta etapa, são requeridos indicadores que permitam monitorar os processos envolvidos na implementação (insumo-processo-produto-resultado-impacto) de maneira contínua, específica e tempestiva. Por fim, os indicadores de avaliação devem refletir de que maneira as ações programáticas contribuem para mitigação dos problemas identificados na etapa inicial.

Depreende-se que os indicadores são fundamentais para extrair do fenômeno estudado uma visão qualitativa e temporal. Por isso, sua discussão é imprescindível na fase de planejamento de projetos e análise de **PP** (LASSANCE, 2022). Isso posto, na próxima sessão, serão introduzidos os principais conceitos pertinentes à compreensão da temática de **PP**, até chegarmos a sua interação com o desenvolvimento sustentável e a construção/evolução dos seus principais indicadores.

2.1.2 Políticas Públicas

Aqui abriremos uma breve apresentação sobre o que são Política(s) Pública(s) (**PP**) e como estão sendo aplicadas para estimular práticas sustentáveis no território nacional. Dorsa (2021), em nota editorial, sintetiza bem a temática de **PP**, classificando-as como:

- (i) distributivas — decisões tomadas pelo governo de modo a estabelecer prioridades na destinação de recursos;
- (ii) regulatórias — estabelecem regras e burocracias;
- (iii) políticas redistributivas — como políticas sociais universais, tal qual o sistema de tributação ou o sistema previdenciário, visando minimizar distorções sociais, provocadas, em parte, pela própria forma de funcionamento das instituições estatais.

O estabelecimento de **PP** recupera o melhor conhecimento em gestão e governança pública à medida que capitaneia investimentos em estudos e pesquisas de diagnósticos para a formulação de projetos e implementação e avaliação de resultados. Assim como no Brasil, diversas outras nações reconhecem a necessidade de aprimoramento das ações do Estado e investem em ferramentas de avaliação mais eficientes de **PP**.

Para Souza (2006), o tema de **PP** se tornou um objeto de pesquisa acadêmica após governos de países (principalmente países em desenvolvimento) adotarem posturas restritivas de controle de gastos, motivando debates acerca do papel do Estado frente à economia e justiça

social. Embora não exista uma definição única (ou melhor) sobre Política Pública, a autora destaca a de Lynn (1980): "conjunto de ações que vão produzir efeitos específicos", ou a proposta por Dye (1984), que sintetiza como "aquilo que o Governo escolhe fazer ou não fazer", ou ainda, sob a ótica de Lasswell (1948), que parte de três questões: "quem ganha o quê, por quê e que diferença faz"(SOUZA, 2006, p. 24).

A importância das Políticas Públicas está centrada nas diferentes formas de organização do Estado republicano, já que a alternância de poder não pode prejudicar projetos de uma nação. Academicamente, a Ciência Política preocupa-se em estudar relações entre Estado e Governo, nas suas diferentes estruturas (poderes, formas de governo, sistemas etc.), e as necessidades da sociedade. As Políticas Públicas são maneiras pelas quais a sociedade e o Estado garantem o cumprimento de projetos essenciais para a república, mas que também são passíveis de serem avaliadas criticamente por agentes governamentais.

A sociedade também pode propor ou avaliar projetos de PP por meio de organizações, também chamadas de *Think Tanks*. Estes organismos utilizam de métodos acadêmicos para racionalizar problemas da sociedade e propor soluções fundamentadas, ou ainda avaliar ações e omissões governamentais sob o rigor científico, a exemplo da Fundação Getúlio Vargas (FGV), que atua fortemente no setor de políticas econômicas, ou mesmo o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) que produz relatórios sobre impactos econômicos e sociais. Nesses casos, Enriconi (2017) aponta algumas das motivações mais comuns:

- O poder público não está ciente do problema;
- A questão não é considerada uma prioridade;
- Não se conhece uma solução;
- Não há orçamento suficiente para a área;
- Não há vontade política

Em relação às Políticas Públicas de incentivo às práticas sustentáveis, podem ser consideradas tanto aquelas de incentivo à preservação ambiental, como também as que se destinam a oferecer melhores condições de vida e bem-estar às pessoas, evitando que parcelas da sociedade sejam excluídas do processo de desenvolvimento urbano (SILVA, 2003). O objetivo de uma gestão sustentável no âmbito da discussão sobre políticas públicas deve ser o de garantir a preservação de recursos para as gerações futuras, recursos que podem ser naturais, como a fauna, a flora, paisagens ou recursos minerais, ou ainda recursos não naturais, como tradições, povos, arquiteturas e diversos aspectos culturais(SACHS, 2000, pg. 49).

SILVA (2003) observa ainda que a sustentabilidade foi por muito tempo ignorada pelos governos locais, como pode ser verificado pela quantidade de ações judiciais exigindo a

implementação de **PP** de preservação do meio ambiente urbano. O autor destaca ainda que os objetos de ação civil pública mais comuns são: implantação de sistemas de tratamento de esgoto, tratamento de resíduo sólidos urbanos, implantação de espaço territorial protegido e preservação de bens de valor cultural. Embora, a justiça tenha entendido que é necessário se aperfeiçoar na temática de ecologia e sustentabilidade (**GRAÇA, 2022**), a organização do Estado não lhe compete a proposição **PP**, mas apenas a fiscalização e imposição de medidas para fazer cumprir a lei em prol do bem comum.

Como exemplo de **PP** para o desenvolvimento sustentável que se tornou bastante comum no Brasil, tem-se o conjunto de medidas de Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (**ICMS**) Ecológico. O ICMS Ecológico ou ICMS Verde é uma medida tributária de distribuição de recursos públicos em face das boas práticas ambientais. **Scaff e Tupiassu (2004)** explicam como o **ICMS** deve ser repartido entre os municípios: pela regra constitucional, é devido à administração municipal 25% do **ICMS** recolhido no Estado; considerando ainda a Lei Complementar 63/1990, desses 25%, $\frac{3}{4}$ devem ser repassados usando o critério do valor adicionado fiscal⁶ daquele município, ou seja, cada estado teria ainda $\frac{1}{4}$ do valor cabível para arbitrar o critério de repartição — sendo nominado de Ecológico ou Verde quando tais critérios forem atrelados a parâmetros de desempenho ambiental.

Bartelmus (2002) fala sobre a importância de se considerar as externalidades do processo econômico, ou seja, além de insumos e custo de produção seria importante considerar os impactos que aquela produção gerou ao meio ambiente e às populações. O autor sugere ainda uma classificação em duas categorias — sendo elas: monetários e não monetários — para indicadores de sustentabilidade, já que indicadores que tentam quantificar os recursos naturais como bens materiais/contábeis, tais como *Material Flow Accounts (MFA)*⁷ ou mesmo *System of Environmental-Economic Accounting (SEEA)*⁸, ignoram externalidades e os efeitos dos processos em outros sistemas. Nesse contexto, em vez de analisar apenas renda, produção, formação de capital e consumo, é válido também considerar nessa contabilidade:

- Gastos defensivos (**LEIPERT, 1989** apud **BARTELMUS, 2002**);

⁶ "O Valor Adicionado Fiscal é o principal critério para cálculo do Índice de Participação Municipal (IPM). É através do IPM que o município tem sua cota-parte definida nos repasses do ICMS pertencente aos municípios" (**TECNOLOGIA, 2023**).

⁷ A Análise de Fluxo de Material é uma metodologia importante para o desenvolvimento industrial por servir como um "sistema metabólico de uma indústria", em que os estoques e fluxos de entrada e saída são mapeados e quantificados. Apesar de envolver vários problemas de precisão, subjetividade e incerteza, a **MFA** tem se mostrado muito útil para o avanço da engenharia e economia industrial, tanto pela facilidade de análise e rastreamento como também pela identificação de gargalos e busca de recursos alternativos para processos industriais. (**GRAEDEL, 2019**)

⁸ O SEEA é um sistema contábil proposto pela ONU que integra informações ambientais e econômicas. Ele busca medir e analisar a interação entre a economia e o meio ambiente, permitindo uma avaliação mais abrangente dos impactos ambientais das atividades econômicas. O **SEEA** ajuda a entender como a economia depende dos recursos naturais, além dos efeitos das atividades econômicas no meio ambiente e como esses fatores podem ser considerados no planejamento e nas políticas públicas. (**COMMISSION et al., 2016**)

- Impactos ambientais de produção e do consumo (por exemplo, emissão de poluentes e esgotamento dos recursos naturais);
- Externalidades, sobretudo dos efeitos sociais (por exemplo, distribuição de riqueza e danos ambientais).

2.2 Sustentabilidade e Desenvolvimento Sustentável

A importância da implementação de práticas sustentáveis de desenvolvimento ultrapassa as questões relativas às mudanças climáticas, que a ensejaram na década de 1970, motivando os primeiros esforços globais. Já durante as últimas décadas, observou-se que a sustentabilidade é essencial para a preservação da cultura, sobretudo dos modos de vida e subsistência de povos e comunidades tradicionais. Como explicado por [Sachs \(2000\)](#), a própria biodiversidade precisa incluir, além do mero inventário de espécies e variedades genéticas, ecossistemas, paisagens e toda variedade cultural que se desenvolveu no processo histórico de coevolução. A sustentabilidade encontra forma nessas comunidades e no seu modo de vida, colocando-as como mais uma espécie dentro de um ecossistema natural, sem transformá-lo significativamente aos seus gostos, mas perpetuando práticas aprendidas pelos seus pais e avós([SACHS, 2000](#)).

A sustentabilidade é hoje muito menos adstrita às temáticas sociais e ecológicas do que foi no século passado, o que contribuiu para causar uma banalização do termo e possíveis confusões acerca da sustentabilidade e do almejado desenvolvimento sustentável. [Castro, Campos e Trevisan \(2018\)](#), por exemplo, discutem os efeitos da institucionalização da temática pelas organizações e aponta que as empresas são colocadas em uma esteira que as incentiva a adotarem ações superficiais para legitimar aparências. Na prática, gastos monumentais em *marketing*, em certificações ou participação em projetos filantrópicos — o que pode ser considerado externalidades — são comumente usados para legitimar o título de sustentável ou "*Eco-Friendly*", enquanto que ações de mitigação de impactos sugeridas por entidades comprometidas são, por vezes, ignoradas. Além disso, no próprio âmbito das discussões acadêmicas, os autores observaram o efeito da banalização do conteúdo por meio de publicações e trabalhos científicos superficiais, desacoplados dos aspectos fundamentais que englobam a temática, em parte, motivados pelo modismo e pela oportunidade de publicações facilitadas([CASTRO; CAMPOS; TREVISAN, 2018](#)).

A definição mais aceita de sustentabilidade foi elaborada pela Comissão Internacional do Meio Ambiente e Desenvolvimento, em 1987, que produziu o icônico documento apelidado de Relatório de Brundtland⁹, que conceituava o desenvolvimento sustentável como o "desenvolvi-

⁹ O evento foi chefiado pela primeira-ministra da Noruega, Gro Harlem Brundtland. O Relatório sofreu diversos ataques de empresários, sobretudo americanos, sob a acusação de conspiração comunista, reputando o relatório como uma versão moderna do Cavalo de Troia para transferir tecnologia avançada para o Terceiro Mundo gratuitamente. Tais reações atrasaram bastante a tomada de ações concretas ([ELKINGTON, 2020](#)).

mento que atende às necessidades do mundo atual sem comprometer a capacidade das gerações futuras de terem suas necessidades atendidas".(IMPERATIVES, 1987; ELKINGTON, 2020)

Elkington (2020) acredita que algumas pessoas podem achar a definição vaga, por isso, reforça-a com a de Herman Daly, segundo a qual, a sociedade sustentável precisaria atender a três condições: 1) as taxas de utilização de recursos renováveis devem ser limitadas à taxa de regeneração; 2) a taxa de utilização de recursos não renováveis precisa ser limitada à taxa de desenvolvimento de substitutos sustentáveis; e 3) as taxas de emissão de poluentes não devem exceder a capacidade de assimilação do meio ambiente. Apesar de existirem outras definições mais tateis de desenvolvimento sustentável e sustentabilidade, todas concordam com o Relatório de Brundtland, pois ele foi norteador e inspirou várias outras iniciativas exitosas na direção do desenvolvimento sustentável, como por exemplo, o protocolo de Montreal, assinado em 1987, por 35 nações, cujo objetivo era o controle das emissões de Clorofluorcarboneto (CFC).

Por outro lado, a compreensão da sustentabilidade como um conceito científico ainda não está fechada, e seu avanço científico recai, em grande parte, na premissa da neutralidade da ciência. Para Reigota (2007), a ciência é historicamente comprometida, apesar dos esforços e investimentos em sustentar algumas hipóteses. Teorias enviesadas e fracamente apoiadas em dados e fatos, dificilmente se sustentam nesse campo competitivo da academia, apesar de existirem muitas teorias desenvolvimento sustentável, é necessário um esforço permanente para confrontá-las aos fatos e demais observações empíricas, conforme ensinamentos de Marconi e Lakatos (2010).

Já para Beni (2003), a participação das universidades e centros de pesquisa ainda é insuficiente, provocando um atraso para setores que dependem estrategicamente do tema, como, por exemplo, o turismo. Não é incomum, nesse sentido, encontrar trabalhos sobre o assunto no formato de estudos de caso, apresentando resultados e avaliações de desempenho de diferentes organizações, tais como estados, assentamentos, empresas ou mesmo processos (CAIADO; QUELHAS; LIMA, 2015; CAMACHO; FARIAS, 2021).

A sustentabilidade possui fatores e dinâmicas globais e locais. Dificilmente, a ameaça a populações tradicionais ou a culturas populares seria suficiente para mobilizar estados nacionais de diferentes partes do mundo. Tais fatores compõem a sustentabilidade local e, portanto, exigem dinâmicas próprias de enfrentamento. Por outro lado, as ameaças de emergência climáticas são universais e afetarão todos os países, exigindo a pactuação de compromissos de ajuste de conduta, tal qual o problema de emissões de gases do efeito estufa, em que as consequências ultrapassam os limites territoriais dos que mais emitem. No entanto, sabe-se também que as consequências físicas das mudanças climáticas afetarão principalmente as populações mais pobres e regiões menos abastadas em todo o mundo com pouca variedade econômica e alta dependência de recursos naturais.

Sustentabilidade ambiental é aquela que se preocupa com as questões ecológicas e climáticas, tendo em vista a forte correlação existente entre as mudanças climáticas e a deterioração

do meio ambiente, seja pela devastação das florestas ou ainda pela poluição aquática e do ar. A sustentabilidade ambiental é a mais debatida pelos órgãos multilaterais, sobretudo pela preocupação com as catástrofes naturais, que tendem a se tornar mais frequentes com a situação de emergência climática, e com a necessidade de precisão na previsão do clima e do tempo para a agricultura e o suprimento de alimentos.

Nesse sentido, os países que compõe a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas (UNFCCC), reconhecendo a deterioração contínua dos ecossistemas de que depende o bem-estar da humanidade, estabeleceram princípios norteadores para conduzir os debates acerca da sustentabilidade ambiental no contexto das mudanças climáticas, entre os quais estão:

1. O princípio da precaução diz que a falta de certeza científica não pode ser usada como desculpa para não adotar as medidas para prever, minimizar ou evitar as causas das mudanças climáticas e mitigar seus efeitos negativos;
2. o princípio das responsabilidades comuns, mas diferenciadas, prevê que as partes devem proteger o sistema climático para o benefício das gerações presente e futura da humanidade, com base na equidade e respectivas capacidades; e
3. o princípio do poluidor pagador, que estipula que as autoridades devem arcar com os custos das suas atividades não sustentáveis fazendo uso dos mecanismos de internacionalização de custos ambientais; entre outros importantes princípios estabelecidos por meio da Agenda 21.

Portanto, espera-se que os países mais desenvolvidos liderem os esforços para combater as mudanças climáticas e os impactos adversos.

O conceito de permanência está vinculado à garantia ou não de que o carbono estocado nas florestas estará a salvo de pragas, desastres naturais ou intervenções humanas que poderão devolver o CO₂ à atmosfera. De acordo com o Guia de Orientação do Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL) (FRONDIZI et al., 2009), o princípio de permanência está relacionado às atividades de mudança no uso da terra e das florestas (Banco Interamericano de Desenvolvimento).

O protocolo de Kyoto também estabeleceu um sistema de financiamento global de MDL e crédito ambiental por meio das Reduções Certificadas de Emissões (RCE) para os projetos candidatos de financiamento, desde que cumpram os critérios de adicionalidade, efetividade e voluntariedade.

Adicionalidade é a característica que confere ao projeto vantagem frente às práticas usuais, ou seja, o projeto precisa provar que, de fato, haveria redução das emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE) na presença do projeto ou ação (LEHMEN, 2006). Nesse contexto,

Leakage ou cálculo de fuga é considerado um efeito adverso a alguma ação relacionada ao projeto, portanto, o *leakage* deve ser descontado durante o processo de prestação de contas, a fim de garantir que o projeto não resultou em benefício neutro (LEHMEN, 2006).

O critério da efetividade seria promovido por meio de ações com benefícios reais, ou seja, passíveis de serem mensuráveis e diretamente relacionados à mitigação dos efeitos negativos das mudanças climáticas. Nessa esteira, os acordos preveem a existência de uma estrutura de supervisão responsável por fazer cumprir o sistema de validação, verificação e certificação de emissões reduzidas do MDL (LEHMEN, 2006).

O critério da voluntariedade é o primeiro requisito de elegibilidade de um projeto no contexto de MDL (LEHMEN, 2006). Para Lehmen (2006), apesar de parecer simples e lógico, a admissibilidade da voluntariedade pode ser questionada caso já exista legislação no país hospedeiro prevendo, por exemplo, aquela ação ou resultado. Tal condição, seria suficiente para que o efeito do projeto não fosse adicional e, por já estar prevista em norma nacional, não fosse também voluntária.

Na sustentabilidade holística, pela visão de Sachs (2000), é o desenvolvimento sustentável que atende simultaneamente os critérios de relevância social, prudência ecológica e viabilidade econômica (SACHS, 2000, p. 35). Além disso, o desenvolvimento sustentável é integralmente ético, sendo solidário e sincrônico com a geração contemporânea e diacrônico com as gerações futuras (SACHS, 2000, p. 49), entendendo a ecologia como uma análise da interação da história natural com a história da humanidade. Para Sachs (2000), oito critérios concorrem para o estabelecimento de um padrão holístico de sustentabilidade, quais sejam: social, cultural, ecológico, ambiental, territorial, econômico, político (nacional) e político (internacional).

Tais critérios, quando melhor detalhados, fornecem um modelo de desenvolvimento sustentável fundamentado na harmonização das dimensões social, ambiental e econômica (SACHS, 2000; SACHS et al., 1993).

1. Critério social: a partir de um alcance razoável de homogeneidade social com distribuição de renda justa, pleno emprego e igualdade de acesso aos recursos e serviços sociais.
2. Critério cultural: respeito à continuidade (desenvolvimento que equilibre tradição e inovação) e capacidade de autonomia para desenvolver projetos de desenvolvimento endógenos.
3. Critério ecológico: preservação do potencial do capital natural na sua produção de recursos renováveis e com limite aos recursos não renováveis.
4. Critério ambiental: respeito e realce à capacidade de autodepuração dos ecossistemas naturais.
5. Critério territorial: Configuração urbana e rural balanceada; melhoria do ambiente urbano e superação das disparidades regionais; estratégia ambientalmente segura para áreas ecologicamente frágeis.

6. Critério econômico: desenvolvimento econômico intersetorial equilibrado; segurança alimentar; capacidade de modernização contínua dos instrumentos de produção; razoável nível de autonomia na pesquisa científica e tecnológica e inserção soberana na economia internacional.
7. Critério política nacional: democracia definida em termos da apropriação universal dos direitos humanos, desenvolvimento da capacidade de o Estado implementar o projeto nacional em parceria com empreendedores e nível razoável de coesão social.
8. Critério política internacional: eficácia do sistema de prevenção de guerras da ONU, na garantia da paz e na promoção da cooperação internacional; Pacote Norte-Sul de codesenvolvimento baseado no princípio da igualdade; controle institucional efetivo do sistema internacional financeiro e de negócios; controle institucional efetivo de aplicação do Princípio da Precaução na gestão do meio ambiente e dos recursos naturais; prevenção das mudanças climáticas globais negativas, proteção da diversidade biológica e cultural e gestão do patrimônio global.

Para isso, faz-se necessário também um sistema efetivo de cooperação científica e tecnológica internacional e a eliminação parcial do caráter de *commodity* da ciência e tecnologia, também como propriedade da herança comum da humanidade.

Para o Brasil, o tema é especialmente sensível e seu debate científico deve ser estimulado, tendo em vista a regulamentação da Lei nº 12.187 de 2009, que institui a Política Nacional de Mudanças Climáticas (PNMC), passo inicial para a regulamentação das atividades economicamente sustentáveis, como o mercado de carbono e os planos e fundos econômicos que deverão apoiar tais atividades, visando cumprir a contraparte nacional do acordo firmado na Conferência das Nações Unidas sobre mudança do clima, no protocolo de Kyoto e demais documentos.

A PNMC entende a falta de consenso existente sobre o tema, mas também reconhece a necessidade urgente de atitudes que mitiguem efeitos deletérios sobre o clima, quando estabelece no seu art. 3º inciso II que serão tomadas medidas para prever, evitar ou minimizar as causas identificadas da mudança climática com origem antrópica no território nacional, sobre as quais haja razoável consenso por parte dos meios científicos e técnicos ocupados no estudo dos fenômenos envolvidos (CIVIL, 2009). (Grifo nosso). Ademais, a PNMC inclui como uma diretriz da política diferentes estratégias integradas a nível local, regional e nacional, assim como o desenvolvimento e promoção de pesquisas científico-tecnológicas, de tecnologias e de práticas que visem:

- a) mitigar a mudança no clima;
- b) reduzir as incertezas nas projeções nacionais e regionais;
- c) identificar as vulnerabilidades e adotar medidas de adaptação adequadas.

2.3 O Barômetro da Sustentabilidade

As discussões iniciais sobre sustentabilidade foram marcadas por questões ideológicas que pouco contribuíram para a minimização dos problemas reais do aquecimento global e do bem-estar das pessoas, por isso, diversas agendas defendem o constante monitoramento de áreas em risco e a implantação de políticas públicas que respondam às demandas criadas por inúmeras dinâmicas sociais, ambientais e econômicas (BORN, 2006; ONU, 2020; ONU, 2017).

Pesquisadores de todo o mundo trabalharam na definição de variáveis, índices e métricas sem um consenso metodológico que pudesse parametrizar adequadamente a gestão da sustentabilidade por diferentes esferas, sobretudo os interesses heterogêneos e, muitas vezes, conflitantes da população. Para esse modelo de gestão, faz-se necessário levar em consideração metodologias que considerem de forma sistemática vários parâmetros, tais como saúde, economia, educação, qualidade do ar, condições de habitação, entre outros. Nesse contexto, o Barômetro da Sustentabilidade (BS) foi proposto por Robert Prescott-Allen, em 1942, com o intuito de servir como ferramenta capaz de sumarizar diferentes características a respeito do bem-estar humano - *Human Wellbeing Index (HWI)* e o bem-estar ecológico - *Ecosystem Wellbeing Index (EWI)* presentes em diferentes municípios e regiões do mundo (SILVA; VIEIRA, 2016; CARDOSO; TOLEDO; VIEIRA, 2016), destacando-se como um instrumento replicável em diferentes cenários.

De forma conceitual, o BS é uma metodologia utilizada para medir o nível de bem-estar, o *Well-Being Index (WBI)*, levando em consideração dois sistemas, sendo eles o humano (HWI) e o ambiental (EWI). Em sua metodologia, o BS propõe a aplicação de critérios de desempenho, objetivos e indicadores para classificação em cinco níveis de sustentabilidade que contemplem as questões centrais para medição do desenvolvimento sustentável e o bem-estar da população. O BS também evoluiu como um *framework*, no qual podem ser customizadas as dimensões, os temas, as variáveis e a métrica de pontuação, o que permite a adequação da metodologia a partir dos conhecimentos de pesquisadores especialistas ou, como neste trabalho, a partir da aplicação de algoritmos computacionais. Desse modo, o BS pode fornecer flexibilidade para que estudos abrangentes possam lidar com informações ausentes ou dissonantes da realidade.

O pioneirismo da aplicação do BS no Brasil foi dado por (KRONENBERGER, 2003), sendo este acompanhado por outros autores e suas produções, que aplicaram a metodologia em diferentes contextos e dimensões territoriais do Brasil (KRONENBERGER et al., 2008; CETRULO; MOLINA; MALHEIROS, 2013). Além dos trabalhos acadêmicos, o BS também passou a ser tema de interesse de órgãos públicos, visto que a metodologia teve boa adequação na tarefa de monitoramento, controle e fiscalização das ações, metas e objetivos de governos (ONU, 2020). Nesse sentido, o BS tem a vantagem de abstrair as discussões acerca de métricas econômicas ou monetárias, tendo em vista que pode incluir todos os tipos de variáveis, independentemente de sua unidade de medida, já que, pela sua metodologia, todas as métricas são convertidas para uma escala própria.

A modelagem matemática do **BS** foi apresentada por (KRONEMBERGER; CARVALHO; JUNIOR, 2004), sendo esta baseada na construção de escalas de desempenho. Os valores da Escala de Desempenho Municipal (**EDM**) são adotados no cálculo das Escala do Barômetro da Sustentabilidade (**EBS**), conforme demonstrado na equação (2.1):

$$BSx = \left\{ \left[\frac{(DM_a - DM_x) \times (BS_a - BS_p)}{(DM_a - DM_p)} \right] (-1) \right\} + BS_a \quad (2.1)$$

Onde DM denota o desempenho municipal para a variável manipulada, de modo que DM_x é o valor obtido pelo município no domínio da **EDM**. Assim, DM_a e DM_p indicam, respectivamente, o limite anterior do intervalo que contém DM_x e o limite posterior do intervalo que contém DM_x . Por efeito, o BS_a e o BS_p dizem respeito ao limite anterior e posterior, respectivamente, do correspondente intervalo na **EBS**.

Embora o **BS** possua vantagens destacadas em vários trabalhos já mencionados, o maior desafio para sua aplicação prática diz respeito à necessidade da coleta de informações e identificação de variáveis relevantes (OLIVEIRA; OLIVEIRA; CARNIELLO, 2015).

Com o objetivo de demonstrar a aplicação do **BS**, tomemos como exemplo os municípios hipotéticos *MUN1*, *MUN2* e *MUN3*, que estão passando por uma avaliação de seus respectivos níveis de sustentabilidade. O pesquisador precisa usar um conjunto pequeno de variáveis que disponha, conforme a Tabela 2:

Tabela 2 – Exemplo de aplicação do BS

EIXO	VARIÁVEL	DESCRIÇÃO	MUN1	MUN2	MUN3
Bem-Estar Humano	T_AGUA	% de pessoas em domicílios com abastecimento de água e esgotamento sanitário inadequados	25.26	24.26	23.65
Bem-Estar Humano	MORT5	Mortalidade infantil até 5 anos de idade por 1000 habitantes.	0.91	0.47	0.84
Bem-Estar Ambiental	P_FOCOS	Concentração dos focos de calor (%)	80.15	68.7	71.32
Bem-Estar Ambiental	T_LIXO	% de pessoas que vivem em domicílios urbanos com serviço de coleta de lixo	66.7	67.13	77.52

Fonte: Elaborado pelo autor.

O primeiro passo é construir a **EBS**, que, tradicionalmente, possui cinco níveis e traduz o valor quantitativo do indicador que será obtido pela equação 2.1 para um valor qualitativo. Cada valor é composto por um intervalo inferior e superior, que devem ser aplicados às variáveis BS_a e BS_p da equação, respectivamente. A Tabela 3 é uma tabela de referência fornecida pelo autor do **BS**.

Tabela 3 – Escala do Barômetro da Sustentabilidade

Nível	Valor
Insustentável	[0,20]
Potencialmente Insustentável	(20,40]
Intermediário	(40,60]
Potencialmente Sustentável	(60,80]
Sustentável	(80,100]

Fonte: Elaborado pelo autor.

O segundo passo após a coleta e consolidação dos dados é construir a EDM, que servirá como referência quanto aos níveis de criticidade de cada variável, sendo necessário que sejam cinco níveis. Assim, por conveniência, esses cinco níveis são nominados de acordo com os níveis de sustentabilidade adotados no BS, quais sejam: Insustentável, Potencialmente Insustentável, Intermediário, Potencialmente Sustentável e Sustentável.

Tabela 4 – Exemplo de Escala de Desempenho Municipal

VARIÁVEL	Insustentável	Potencialmente Insustentável	Intermediário	Potencialmente Sustentável	Sustentável
T_AGUA	[0,70)	[70,80)	[80,90)	[90,95)	[95,100]
MORT5	[100,76)	[76,50)	[50,20)	[20,10]	[10,0]
P_FOCOS	[100,10)	[10,6)	[6,4)	[4,2)	[2,0]
T_LIXO	[0,70)	[70,80)	[80,90)	[90,95)	[95,100]

Fonte: Elaborado pelo autor.

É bom que os valores da EDM sejam embasados por valores de referência, como os disponibilizados pela Organização Mundial da Saúde (OMS), OCDE, por Projetos de Políticas Públicas ou na literatura acadêmica ou científica. Ainda assim, deverão ser calibrados por especialistas, seja para adaptação aos níveis adotados ou mesmo por particularidades regionais. Como vemos na Tabela 4, cada célula é composta por dois valores que delimitam o nível de sustentabilidade: um inferior e outro superior, relacionando-se respectivamente com as variáveis DM_a e DM_p da Equação 2.1

O terceiro passo é a substituição dos termos na Equação do BS. Tomando município a município, cada um dos valores associados a cada variável da Tabela 4 assumirá o valor DM_x ; em seguida, será necessário identificar em qual nível a variável se encontra, e serão recuperados os termos DM_a e DM_p , ou seja, o intervalo anterior e posterior do referido nível na EDM. Igualmente, na EBS deverão ser recuperados os níveis BS_a e BS_p , intervalo inferior e superior, respectivamente.

Tabela 5 – Memória de cálculo do exemplo

Município	Variável	DM_x	Nível (EDM)	DM_a	DM_p	BS_a	BS_p	Resultado do BS
MUN1	T_AGUA	25.26	Insustentável	0	70	0	20	7.22
MUN1	MORT5	0.91	Sustentável	10	0	80	100	98.18
MUN1	P_FOCOS	80.15	Insustentável	100	10	0	20	4.41
MUN1	T_LIXO	66.7	Insustentável	0	70	0	20	19.06
MUN2	T_AGUA	24.26	Insustentável	0	70	0	20	6.93
MUN2	MORT5	0.47	Sustentável	10	0	80	100	99.06
MUN2	P_FOCOS	4.7	Intermediário	6	4	40	60	53.00
MUN2	T_LIXO	67.13	Insustentável	0	70	0	20	19.18
MUN3	T_AGUA	23.65	Insustentável	0	70	0	20	6.76
MUN3	MORT5	0.84	Sustentável	10	0	80	100	98.32
MUN3	P_FOCOS	1.32	Sustentável	2	0	80	100	86.80
MUN3	T_LIXO	77.52	Potencialmente Insustentável	70	80	20	40	35.04

Fonte: Elaborado pelo autor.

O quarto passo é a tradução da métrica dada pela variável DM_x em um indicador de nível de sustentabilidade. O Barômetro da Sustentabilidade fornece a **EBS** como uma referência inequívoca para a classificação do nível de sustentabilidade, de acordo com a Tabela 3. No entanto, como passo adicional, temos a possibilidade de gerar indicadores sintéticos, obtidos pela média aritmética ou outra medida agregativa, tantos quantos forem viáveis do ponto de vista de análise do fenômeno: de variáveis para temas, de temas para dimensões e de dimensões para eixos de bem-estar; ou ainda, de municípios para regiões.

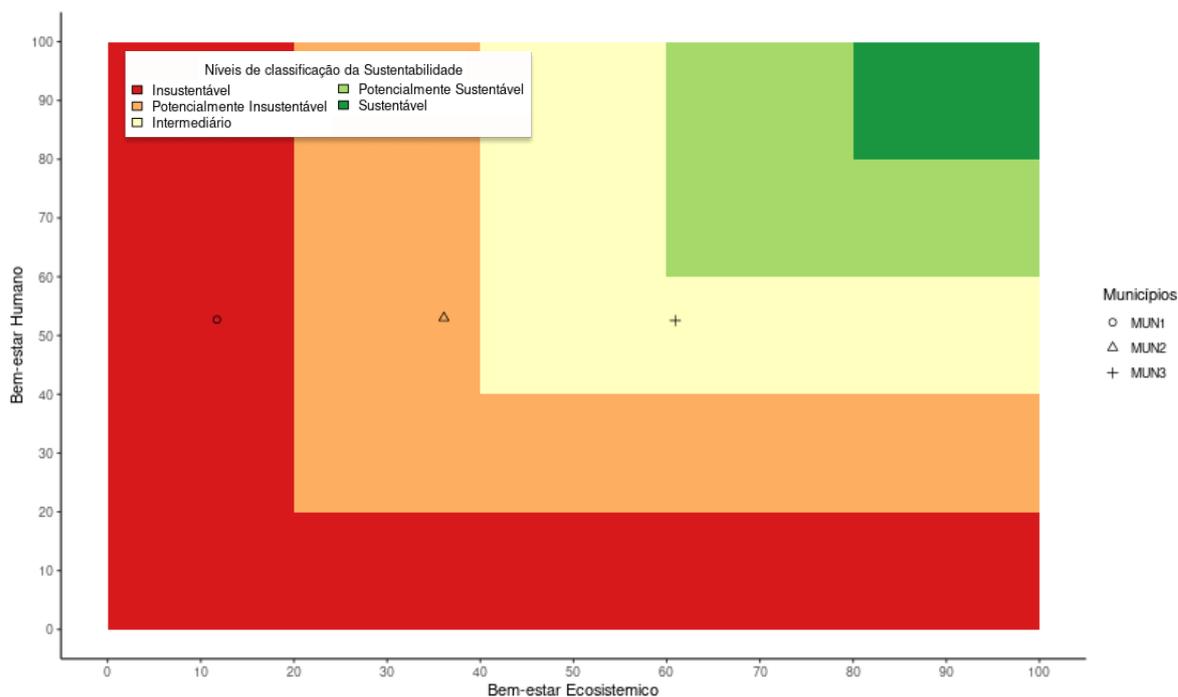
Tabela 6 – Resultado tabular do exemplo de aplicação

	Eixo Ecosistêmico	Eixo Humano	BS municipal
MUN1	11.73	52.70	32.22
MUN2	36.09	53.00	44.54
MUN3	60.92	52.54	56.73

Fonte: Elaborado pelo autor.

A geração do indicador sintético (**WBI**) — valor agregado de todas as dimensões e eixos **HWI** e **EWI** — também é utilizado na representação gráfica do **BS** (*square graphic*), conforme proposto por Prescott-Allen (2001), colorida em faixas temáticas de acordo com os cinco níveis de sustentabilidade, ajudando, assim, a localizar os territórios estudados, como ilustrado na Figura 3. No caso ilustrativo dos 03 municípios, foi realizada a agregação pela média aritmética das variáveis em seus respectivos indicadores sintéticos de bem-estar, sendo o eixo de Bem-Estar Humano (**HWI**) constituído pela média aritmética do **BS** nas variáveis T_AGUA e MORT5, enquanto o eixo de Bem-Estar Ecosistêmico (**EWI**) agregou pela média do resultado do **BS** obtido nas variáveis P_FOCOS e T_LIXO.

Figura 3 – Exemplo do gráfico do BS



Fonte: Elaborado pelo autor.

A possibilidade de fácil agregação do indicador é uma característica positiva do BS, muito bem aproveitada na literatura (BELLEN, 2005; KRONEMBERGER; CARVALHO; JUNIOR, 2004; KRONEMBERGER et al., 2008), principalmente em estudos que conduzem avaliações em territórios mais estratificados. A possibilidade de melhor organização das análises por variáveis, temas, dimensões e eixos, sem prejuízo de outras divisões, é conveniente para pesquisadores que desejam segmentar as análises em fenômenos e interações mais complexas. No exemplo em tela, a Tabela 6 ainda dá um valor único de sustentabilidade municipal entendida a partir dos eixos de bem-estar.

2.4 Extração, Transformação e Carga de Dados

Conforme constatado no capítulo de revisão da literatura, parte da dificuldade de comparação entre indicadores e acompanhamento temporal a longo prazo dos mesmos, se deve ao problema da falta de padronização entre as variáveis adotadas, portanto, considerou-se no trabalho que a análise para acompanhamento do nível de sustentabilidade de governos nacionais e subnacionais deve ser feita utilizando dados secundários¹⁰, preferencialmente de órgãos oficiais de Estado ou de institutos de pesquisa. Por essa razão, optou-se por realizar o processo de aquisição de maneira parcialmente automatizada, tendo em vista que todos os dados disponibili-

¹⁰ Em Metodologia de Pesquisa, são denominados dados primários aqueles criados ou coletados durante a pesquisa que fará uso deles; enquanto dados secundários são aqueles que não foram produzidos no processo de desenvolvimento da pesquisa, mas foram aproveitados de outras pesquisas ou fontes.

zados podem sofrer atualizações ou correções, sendo necessário guardar alguns metadados nesse processo de coleta, tais como a data de coleta e o endereço utilizado para *download*.

O processo de **ETL** é uma das etapas mais críticas de um trabalho de análise, pois a obtenção de conjuntos de dados de diferentes fontes demanda uma série de etapas de tratamento e compatibilização entre seus atributos.

A etapa de extração, também chamada de aquisição ou coleta, refere-se ao processo de obtenção dos dados pretendidos de um determinado provedor ou fonte de dados. A extração pode se dar de modo *online*, quando o dado for adquirido utilizando protocolos de rede (HTTP, FTP, SSH, entre outros), ou, ainda, quando o dado chega por uma mídia física. Além disso, ele pode ser disponibilizado em uma variedade enorme de formatos, tais como *.csv*, *.fwf*, *.dbf*, *.json*, entre outras formas oriundas de métodos de raspagem, onde o dado é coletado como HTML ou texto plano com algum outro tipo de delimitação.

Na etapa de transformação, são realizadas sequências de operações e validações, a fim de garantir a integridade e consistência dos dados. As operações mais comuns, conforme ilustrado na Figura 4, são:

- *join* — quando se pretende mesclar dois conjuntos de dados utilizando um atributo conhecido por ambos;
- *subset* — sendo a atividade de criar subconjuntos de dados a partir de critérios objetivos de busca e seleção;
- *aggregation* — normalmente utilizada para consolidar ou sumarizar um conjunto de dados utilizando uma função (soma, média, moda, máximo, mínimo etc);
- *pivot* ou *reshape* — quando se deseja alterar a disposição de atributos ou registros, essa operação operação pode ser dar de três formas principais: *transpose*, *melt* ou *cast*.
 - No caso da *transpose*, as linhas/registros viram colunas/atributos;
 - *melt* é quando duas ou mais colunas são representadas por apenas uma coluna chave e seu respectivo valor;
 - *cast* é a operação inversa do *melt*, de modo a transformar os valores de uma coluna em novos atributos.

Além das operações citadas, pode surgir a necessidade de diversos ajustes em projetos reais de transformação de dados, a depender do algoritmo, técnica de estatística ou abordagem analítica empregada, como a operação de discretização ou *Data Binning*, que padroniza atributos em valores escalares preestabelecidos pelo pesquisador, transformações logarítmicas, entre outras.

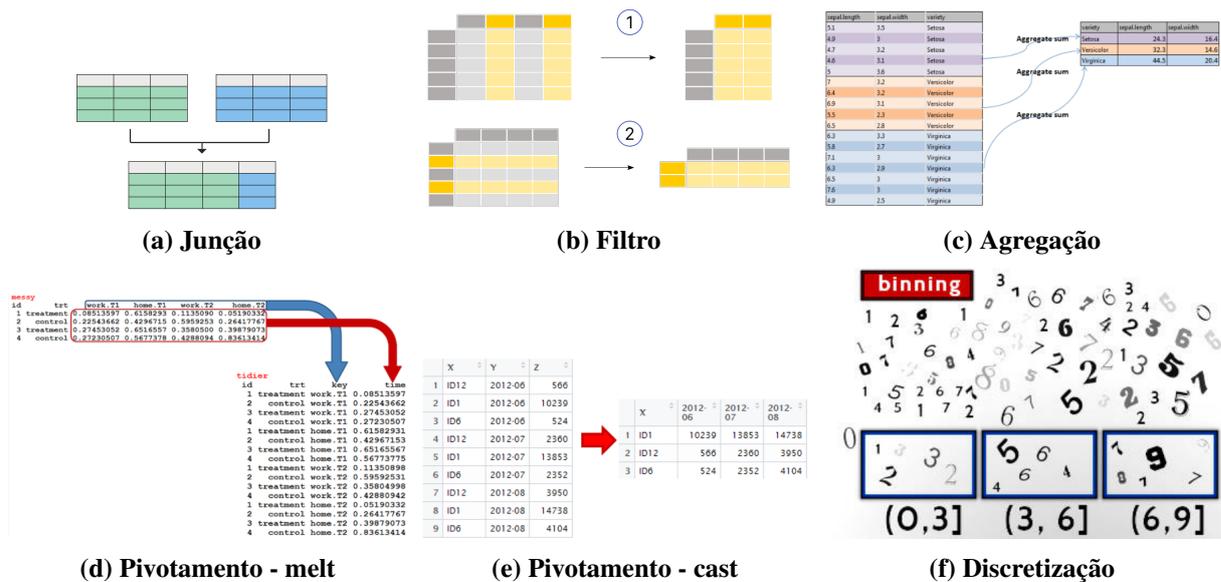


Figura 4 – Operações de transformação de dados

Fonte: Adaptado de (DAUDA, 2023; PANDAS, 2023; VENKATACHALAM, 2023; BOEHMKE, 2015; BHALLA, 2017; GUILHERME, 2021).

2.5 Engenharia de Software

A Engenharia de *Software* teve papel central no desenvolvimento de diversas tecnologias e contribuiu significativamente para o avanço dos padrões de qualidade de vida na medida em que o *software* se tornou um elemento cotidiano, sendo conhecido pela grande maioria das pessoas. Algumas das características fundamentais dos *softwares*, que contribuíram para torna-los tão úteis, foram destacadas por Pressman e Maxim (2021), dentre as quais, evidencia-se o caráter único que cada *software* assume em projetos no mundo real, impedindo ou dificultando que seja produzido em escala industrial, como manufaturas de circuitos integrados. Tal característica ajudou a produzir uma área de conhecimento dedicada ao estudo e aperfeiçoamento de técnicas e boas práticas em projetos, desenvolvimento e implantação de *software* em uma época que existiam muitos desafios, frustrações e mitos em torno do tema (PRESSMAN; MAXIM, 2021).

2.5.1 Conceito

Para Pressman e Maxim (2021), a Engenharia de *Software* compreende um conjunto de etapas, ferramentas, técnicas e artefatos (não necessariamente de *software*, como também de documentos, relatórios e diagramas) que fazem parte do produto e do seu ciclo de vida. Assim, o ciclo de vida do *software* é um dos fatores determinantes para o projeto de software, muitas vezes citado como paradigma de engenharia de *software*.

Dentro da Engenharia de *Software*, a Engenharia de Requisitos visa elicitar e descrever objetivamente as necessidades do negócio, de modo a apoiar o processo de desenvolvimento do *software*. O Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos (*Institute of Electrical and*

Electronics Engineers) (IEEE) define a engenharia de requisitos como um processo de aquisição, refinamento e verificação das necessidades dos clientes para um sistema de *software* através do estudo e aplicação de procedimentos sistemáticos, disciplinados e quantificáveis ao desenvolvimento, operação e manutenção de *software*.

A Engenharia de *Software* assume, portanto, que um *software* pode ser mentalizado e projetado, algumas das dificuldades de implementação podem ser previstas, custos e prazos podem ser estimados, e o seu desenvolvimento pode ser ditado em processos bem definidos, ou seja, poderia ser projetado de modo similar a uma obra de engenharia. No entanto, a Engenharia de *Software* não termina na entrega do objeto, mas compreende todo o ciclo de vida, daí a necessidade da tríade planejamento, metodologia e disciplina (PEREIRA, 2011).

Como planejamento, entende-se as etapas iniciais de entendimento dos problemas contextuais e, em seguida, a definição de etapas, metas e estimativa de recursos, bem como a definição das metodologias e habilidades requeridas (ferramentas, recursos humanos etc.). A metodologia definirá a organização adotada para o produto e para os colaboradores e *stakeholders*¹¹. Enquanto, por disciplina, entende-se o comprometimento das pessoas envolvidas no sentido de executar do modo mais fiel possível aquilo que foi planejado, de acordo com a metodologia definida (PEREIRA, 2011).

2.5.2 Engenharia de Requisitos

Para Pressman e Maxim (2021), a atividade de coletar e entender os requisitos de um problema é uma das tarefas mais desafiadoras enfrentadas durante o processo de desenvolvimento de um *software*, isso porque as necessidades nem sempre são claramente entendidas pelos clientes ou mesmo não são corretamente comunicadas. Portanto, a Engenharia de *Software* não é apenas um amplo espectro de tarefas e técnicas que levam ao entendimento dos requisitos dos clientes, mas também um processo de *software* que se dá durante toda a atividade de comunicação, culminando na modelagem e nas seguidas adaptações pelas quais o *software* passa.

A Engenharia de Requisitos, portanto, abrange sete tarefas principais: concepção, levantamento, elaboração, negociação, especificação, validação e gestão (PRESSMAN; MAXIM, 2021).

Pressman e Maxim (2021) entendem que na Concepção são estabelecidos o entendimento básico do problema, os *stakeholders*, a natureza da solução e a dinâmica da comunicação e colaboração. O Levantamento é um processo sistemático de estabelecimento de metas e prioridades. Elaboração é um processo de criação e refinamento de cenários que descrevem como os atores irão interagir com o sistema, até atingir um modelo de requisitos refinado, em que conste o máximo de entidades do domínio (atributos, serviços e relacionamentos). Negociação é todo o

¹¹ *Stakeholders* ou Partes interessadas é um termo técnico utilizado em várias áreas de gestão de projetos, comunicação, administração e arquitetura de *software*, e se refere ao grupo de indivíduos cujo apoio é indispensável para o sucesso de um processo, projeto ou da própria organização.

conjunto de ações que visam a conciliação de conflitos por meio de técnicas de negociação, de modo a priorizar requisitos, avaliar custos e riscos e equilibrar a satisfação de todos os envolvidos. Já a Especificação se trata de um conjunto de documentos (texto, modelos gráficos, cenários de uso, protótipo ou mesmo a combinação de vários desses artefatos) que serão incluídos a depender do porte da solução e de acordos realizados. A Validação, por sua vez, examina a especificação, para garantir que os requisitos de *software* estão consistentes, sendo a revisão técnica o principal mecanismo de ação. Por fim, a tarefa de Gestão dos requisitos servirá para identificar, controlar e acompanhar as necessidades de mudanças à medida que o projeto evolui.

Para [Sommerville \(2011\)](#), Engenharia de *Software* ou Especificação de *software* é o processo de compreensão e definição dos serviços requisitados, bem como as suas restrições (de desenvolvimento ou operação), tendo como objetivo a produção de um documento de requisitos com a especificação do sistema acordado com os *stakeholders*.

A ocorrência de padrões de análise na Engenharia de Requisitos, permite que várias soluções sejam adaptadas e reutilizadas. Tais padrões funcionam como abordagens exitosas já comprovadas experimentalmente. [Medeiros et al. \(2015\)](#) destacaram que o processo de especificação dos requisitos está sendo adaptado no contexto de desenvolvimento ágil, sem, contudo, substituir as abordagens tradicionais, como *Use Cases* e Diagramas *Unified Modeling Language (UML)*. De fato, [Pressman e Maxim \(2021\)](#) afirmam que o processo ágil estimula a identificação e a implementação antecipadas dos recursos de prioridade mais alta do produto, permitindo, assim, a antecipação de cenários de teste e a oferta de protótipos funcionais.

2.5.3 Padrões Arquiteturais

De acordo com a [Committee et al. \(2000\)](#), a arquitetura de um *software* diz respeito à organização de nível mais baixo e fundamental de um sistema em seus componentes constituintes, ou seja, relacionamentos, ambientes e princípios. De sorte que, para se tomar decisões em relação à arquitetura de um *software*, é necessário que ele seja compartimentado em diferentes componentes, portanto, a arquitetura é uma possível interpretação da implementação do sistema ([SILVEIRA et al., 2011](#)).

É importante salientar que a definição da arquitetura é resultado de esforço a nível de projeto e não uma consequência ou o resultado do melhor esforço na fase de codificação. Como apontam [Shaw e Garlan \(1996\)](#), a arquitetura envolve a descrição dos elementos pelos quais um sistema é construído, inclusive suas interações, padrões que guiam sua composição e suas respectivas restrições. Para [Hirama \(2012, p. 40\)](#), a Arquitetura de software representa elementos estruturais e comportamentais, sendo o resultado de um conjunto de decisões técnicas e de negócio com efeito direto sobre atributos de desempenho, confiabilidade e manutenibilidade do *software*.

A Arquitetura de um sistema é composta por: i) subsistemas ou componentes, que são

responsáveis pelos comportamentos do sistema; ii) conectores, que interligam esses componentes; e iii) padrões de conexão, que, por sua vez, possibilitam vários tipos de interação e compartilhamento de informações entre os componentes (MENDES, 2002). Para Mendes (2002), um sistema cuja arquitetura esteja bem organizada oferece um nível tal de isolamento entre os módulos capaz de minimizar o impacto de mudanças e de decisões sobre outras e essa modularidade é um importante atributo de qualidade de um sistema (MENDES, 2002). No entanto, para Hirama (2012, p. 79), alguns desses atributos do sistema podem ser concorrentes, de modo que a priorização de um determinado atributo leve à degradação de outro, tal qual a decisão arquitetural de manter a alta granularidade dos componentes afim de melhorar o desempenho, ao custo de dificultar a manutenibilidade. Por isso, a decisão arquitetural não deve levar em conta apenas elementos técnicos, mas também do ambiente e do negócio.

Para melhorar o direcionamento dos projetos existem Estruturas ou Estilos de Arquitetura de Sistemas que visam orientar as decisões internas, sendo alguns dos mais famosos o modelo Cliente-Servidor, Modelo em Camadas, *Pipe and Filters*, Baseado em Repositório e algumas combinações entre estes. A partir da decisão do estilo arquitetural, deve-se decidir qual abordagem de decomposição em módulos será usada, se orientado a funções ou se orientado a objetos. O Modelo orientado a funções é derivado do Diagrama de Fluxo de Dados (DFD), sendo apropriado para atividades de transformação de dados de entrada em dados de saída. A representação desse modelo é conhecida como Diagrama de Estrutura de Módulos (DEM). Já o Modelo orientado a Objetos, estrutura o sistema em um conjunto de classes que definem entidades do domínio, com interfaces bem definidas e não acopladas, de modo a permitir que certas classes requisitem serviços de outras (HIRAMA, 2012).

O estilo arquitetural *Pipes e Filtros* considera a existência de uma rede por onde os dados fluem e, nesse contexto, o fluxo de dados se dá através de *pipes* ou canos unidirecionais que conduzem os dados de uma fonte a um destino. Há também *Filtros* que operacionalizam as transformações de dados necessárias (MENDES, 2002). O estilo arquitetural é muito usado na arquitetura do sistema operacional Unix, onde é possível concatenar a saída de um programa para outros programas, de modo a criar ferramentas poderosas de tratamento de dados sem consumir memória com armazenamento de dados em variáveis.

A Figura 5 exibe o comportamento de vários programas atuando em um sistema operacional Unix, de modo a produzir uma tabela com a quantidade de processos ativos por usuário em um determinado instante. Nela, podemos perceber que o programa `ps -aux` imprime os processos em execução em um sistema operacional Linux (Figura 5(a)) em formato tabular contendo várias colunas. Já na Figura 5(b), o comando executado concatena o programa `ps -aux` ao programa `cut -d' ' -f1` utilizando o operador Pipe (`|`) e, como resultado, a saída do primeiro programa é transmitida como entrada para o segundo, que vai recordar apenas que indica quem é o usuário no sistema que está executando o processo. Na Figura 5(b), o resultado é apresentado em ordem alfabética com o programa `sort`, para, em seguida, ser contabilizado quantas vezes

cada usuário aparece (Figura 5(c)), desta vez, concatenando a chamada ao programa `uniq -c`.

Figura 5 – Exemplo de Pipes e Filtros no Unix

```
$ ps -aux
USER PID %CPU %MEM VSZ RSS TTY STAT START TIME COMMAND
root 1 0.0 0.0 168856 14236 ? Ss 09:39 0:03 /sbin/init sp
root 2 0.0 0.0 0 0 ? S 09:39 0:00 [kthreadd]
root 3 0.0 0.0 0 0 ? I< 09:39 0:00 [rcu_gp]
[...]
marceloc 9963 0.8 0.9 1186922456 156316 ? Sl 12:17 0:06 /opt/google/chrome/chrome ...
root 10003 0.0 0.0 0 0 ? I 12:19 0:00 [kworker/u8:3-events_power_efficient]
marceloc 10023 0.4 0.9 1186917144 159164 ? Sl 12:20 0:02 /opt/google/chrome/chrome ...
marceloc 10044 1.3 0.9 1186926432 162796 ? Sl 12:21 0:06 /opt/google/chrome/chrome ...
marceloc 10055 0.0 0.6 1186919460 113220 ? Sl 12:21 0:00 /opt/google/chrome/chrome ...
marceloc 10070 0.0 0.4 1186902552 66264 ? Sl 12:21 0:00 /opt/google/chrome/chrome ...
root 10108 0.0 0.0 0 0 ? I 12:25 0:00 [kworker/u8:0-events_unbound]
root 10127 0.0 0.0 0 0 ? I< 12:27 0:00 [kworker/u9:2]
marceloc 10146 0.0 0.0 13080 3852 pts/0 R+ 12:29 0:00 ps -aux
```

(a) Exemplo do programa/comando `ps -aux`

```
$ps -aux | cut -d' ' -f1
root
root
root
[...]
marceloc
root
marceloc
marceloc
marceloc
marceloc
marceloc
root
root
marceloc
```

(b) Pipe para o comando `cut`

```
$ps -aux | cut -d' ' -f1 | sort
root
root
root
root
root
[...]
marceloc
marceloc
marceloc
[...]
www-data
[...]
```

(c) Pipe para o programa `sort`

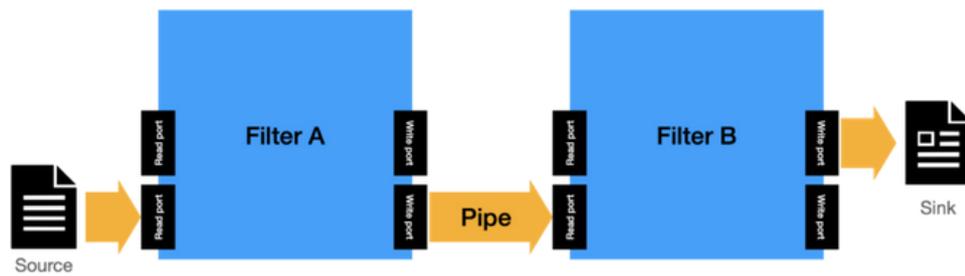
```
$ ps -aux | cut -d' ' -f1 | sort | uniq -c
 2 avahi
 1 colord
 2 kernoops
121 marceloc
 1 message+
161 root
 1 rtkit
 1 syslog
10 systemd+
 1 USER
 5 www-data
```

(d) Pipe para o programa `uniq`

Fonte: Elaborado pelo autor.

Cada etapa do processo faz uma atividade de tratamento de dados, faz a ingestão dos dados da etapa anterior ou produz os dados. Cada etapa possui uma unidade computacional independente (os *filters*) e uma conexão planejada (os *pipes*) de modo a processar e enriquecer o resultado de maneira incremental (ELEMAR JUNIOR, 2023).

Elemar Junior (2023) apresenta o estilo com 04 elementos básicos, ilustrados na Figura 6: 1) *Filters* farão a ingestão dos dados a partir de uma ou mais *read port*, processam esses dados e, depois, escrevem os resultados por uma ou mais *write ports*; 2) *Pipes* conectam dois *Filters*; 3) *Read ports* é o mecanismo de entrada, comumente associado à entrada padrão (*stdin*) ou leitura de arquivos, sendo responsável por adaptar os dados ingeridos para um formato interno compatível; por fim, as 4) *Write ports* são pontos de saída dos *filters* que convertem os dados resultantes do processamento em uma saída específica, sendo habitualmente a saída padrão (*stdout*), um arquivo ou ainda um *pipe*.

Figura 6 – Representação esquemática dos componentes do *Pipe and Filters*

Fonte: (ELEMAR JUNIOR, 2023).

Para [Elemar Junior \(2023\)](#), todas as linguagens de programação que fazem uso do paradigma funcional oferecem mecanismos para criar encadeamento de funções. As operações de *Map* e *Reduce*¹² são bons exemplos de componentes de *Pipe and Filters* que saíram do contexto de programação funcional e foram incorporados por linguagens orientadas à objeto, sendo capazes de aplicar funções complexas a objetos que podem ser iterados.

2.5.4 Projeto de Sistemas

O Projeto é uma etapa do ciclo de vida de um *software* em que os entendimentos do domínio de análise são traduzidos e enriquecidos por diagramas, protótipos e documentação, constituindo-se como uma ligação entre a codificação do *software* e os seus requisitos ([HIRAMA, 2012](#)).

Para [Larman \(2007\)](#), durante a análise e coleta de requisitos, os engenheiros de requisitos podem confrontar-se com narrativas ou cenários de uso/aplicação de um *software*.

O projeto do sistema talvez seja o artefato mais importante a ser utilizado com o objetivo de gerenciar diferentes pontos de vista (de usuários, analistas, desenvolvedores, gerentes de projeto etc.). Desse modo, ele não está apenas relacionado a aspectos estruturais ou comportamentais do sistema, mas também a aspectos subjetivos de uso, até mesmo a restrições de caráter econômico e tecnológico ([BOOCH; JACOBSON; RUMBAUGH, 2016](#)).

2.5.5 UML

A [UML](#) ou Linguagem de Modelagem Unificada foi criada a partir de algumas metodologias de diagramação de projetos orientados a objeto, por exemplo, as propostas de Booch, Jacobson e Rumbaugh. Os principais pesquisadores e profissionais envolvidos acharam que seria conveniente chegar a um acordo sobre a semântica e a sintática a fim de harmonizar os recursos existentes. A partir de então, foram incorporando as melhores práticas, definições mais

¹² MapReduce foi um *framework* criado pela Google, baseado em programação funcional, para processar grandes volumes de dados em paralelo dividindo o trabalho em um conjunto de tarefas independentes. O nome do *framework* remete às funções elementares da programação funcional: *filter*, *map* e *reduce*

precisas, abstrações, de modo a aperfeiçoar as regras de sintaxe e semântica até se tornar uma especificação unificada que foi condensada na versão 1 (um) da UML(UNIFIED... , 2017).

Booch, Jacobson e Rumbaugh (2016) definem a UML como uma linguagem gráfica para visualização, especificação, construção e documentação de artefatos de sistemas complexos de *software*, proporcionando uma referência para a preparação de planejamento arquitetural de projetos de *softwares*, sejam aspectos conceituais, como por exemplo, funcionalidades ou processos de negócio, como também aspectos concretos, tais como as classes implementadas, esquemas de bancos de dados e componentes reutilizáveis.

Dito isto, vale destacar que a UML, enquanto linguagem, oferece um vocabulário comum aos seus utilizadores, bem como um conjunto de regras, que quando corretamente combinados produzem significado. A característica de ser uma linguagem visual nos dá a compreensão de que ela não é verbal, combinando símbolos textuais e não textuais para comunicar ideias. Além disso, a UML faz uso intensivo de elementos não textuais. Diferentemente das linguagens de programação, ela é mais abstrata e generalista, de modo que um modelo UML poderá servir para diversas situações durante a implementação de um produto, assim como também é importante considerar que um único modelo não é suficiente para comunicar todas as nuances do produto.

Outra utilidade da UML é a criação de modelos, como forma de simplificar a realidade. Algo mais próximo do conceito matemático de modelagem, que permite a compreensão, a análise e o controle de fenômenos físicos. Semelhante à modelagem matemática, a criação de modelos UML precisa isolar ao máximo o sistema que está sob análise e depois escolher que característica desse sistema será modelada. Eventualmente, para cada condição de contorno, ou contexto, em que o sistema físico sob análise estará inserido, exigirá também um modelo matemático específico, por isso, a modelagem matemática trabalha com a ideia de família de soluções, como uma forma de abstrair ou generalizar um modelo matemático do mundo real (AGUIRRE, 2015).

Uma das primeiras visões formuladas de um sistema é exatamente a visão do cliente. A visão de Caso de Uso abrange o comportamento do sistema conforme é visto pelos usuários finais, analistas e pessoal dos testes que interagem com essa visão, portanto, não especifica realmente a organização do sistema de um *software* com detalhes técnicos. No entanto, ela especifica as forças que determinam a forma da arquitetura do sistema. Com a UML, os aspectos estáticos dessa visão são materializados em Diagramas de Casos de Uso, enquanto os dinâmicos são capturados em Diagramas de Interação, Diagramas de Estados e Diagramas de Atividades (BOOCH; JACOBSON; RUMBAUGH, 2016).

2.5.5.1 Diagrama de Casos de Uso

O Caso de Uso é um elemento central na Engenharia de *Software*, estando presente na análise de requisitos, no projeto do sistema, ou mesmo, na orientação de todo o ciclo de vida do *software* (BOOCH; JACOBSON; RUMBAUGH, 2016, p. 39). O processo Orientado a Casos de

Uso assume os casos de uso como o principal artefato do comportamento desejado do produto, de modo que toda a verificação e validação da arquitetura, casos de teste e comunicação orbitem os casos de uso (BOOCH; JACOBSON; RUMBAUGH, 2016; IBM, 2023).

Muito embora a UML tenha surgido no contexto da Orientação a Objetos (UNIFIED..., 2017; BOOCH; JACOBSON; RUMBAUGH, 2016; LARMAN, 2007), os Casos de Uso não podem ser considerados artefatos orientados a objetos, sendo úteis em diferentes contextos (LARMAN, 2007). Os casos de usos podem ser aplicados, por exemplo, para capturar o comportamento pretendido do sistema sem detalhar como esse comportamento será implementado, de modo a alinhar a compreensão de desenvolvedores, clientes, especialistas do domínio e usuários finais (BOOCH; JACOBSON; RUMBAUGH, 2016).

Casos de usos não representam o sistema no nível de implementação, ou seja, são independentes de realização, mas podem ser tão detalhados quanto se queira. Também devem cobrir algumas variações importantes do sistema na produção de um resultado observável. Para Booch, Jacobson e Rumbaugh (2016), um caso de uso representa um requisito funcional do sistema como um todo, já para Malan, Bredemeyer et al. (2001), os casos de uso servem para capturar requisitos funcionais do sistema, uma vez que a modelagem captura requisitos funcionais atuais e planejados, assim como pode incluir requisitos não funcionais, de modo que alguns objetivos podem ser representados por um conjunto de casos de uso, não sendo, necessariamente, uma relação injetora.

Segundo Malan, Bredemeyer et al. (2001), Casos de Usos capturam quem (ator) faz o quê (interação), com qual finalidade (sistema), através de uma sequência de ações, inclusive variantes, que o sistema executa para produzir um valor observável para um ator. Os casos de uso são representados graficamente por uma elipse com um texto no meio, nomeando de maneira única e inequívoca o caso de uso. A Figura 7 demonstra o diagrama de casos de usos e seus principais símbolos.

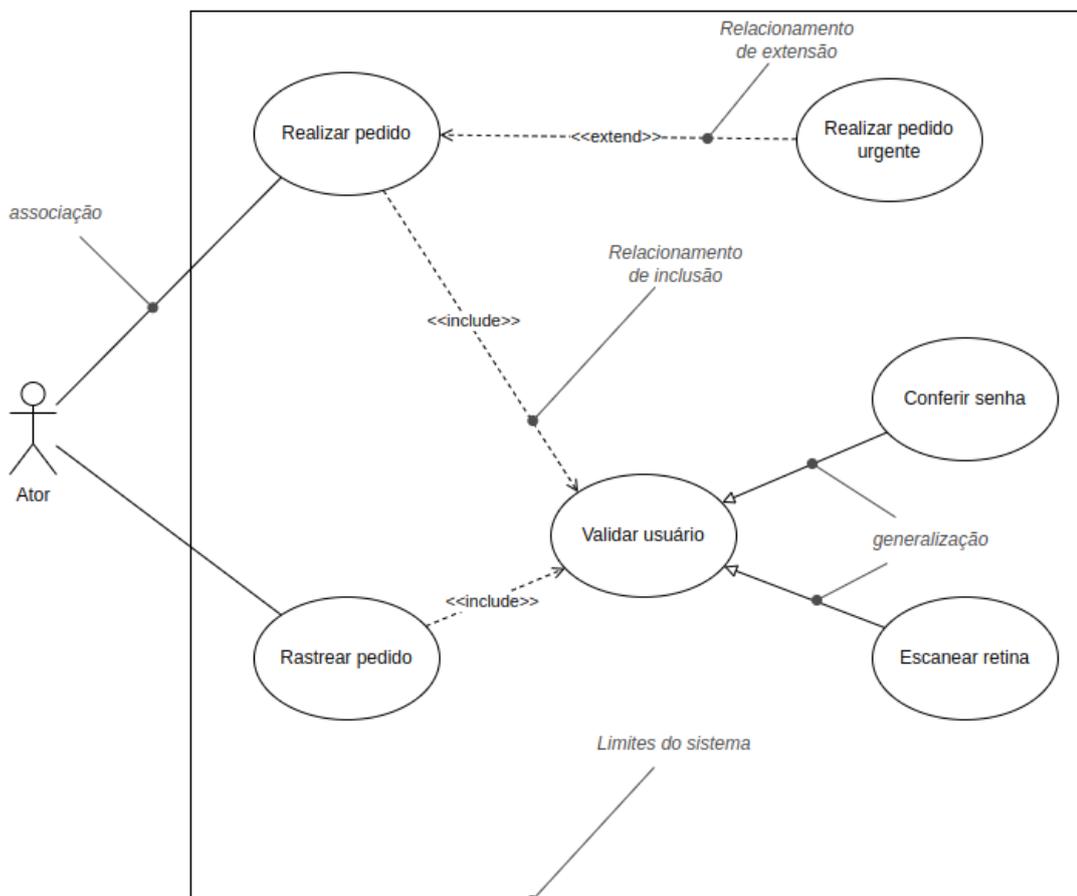
Os atores são elementos externos ao sistema, mas que interagem com ele (BLAHA; RUMBAUGH, 2006; MALAN; BREDEMEYER et al., 2001). Um ator pode ser uma classe de usuários, papéis que um usuário pode desempenhar, ou ainda, outros sistemas, podendo também ser classificado como ator primário quando interage com o sistema requerendo alguma funcionalidade, ou ator secundário quando é aquele para o qual o sistema requiere alguma assistência (MALAN; BREDEMEYER et al., 2001). Em relação à notação UML, os atores são representados por bonecos de palito fora do sistema (caixa retangular) e também são passíveis de generalização e especialização.

As interações ou associações são usadas para estruturar o modelo indicando uma relação de um ou mais casos de usos com um ator (MALAN; BREDEMEYER et al., 2001). A associação é representada por uma linha contínua conectando um ator, de fora do sistema, para o(s) caso(s) de uso(s).

A finalidade equivale a um assunto, classe, sistema ou subsistema sendo modelado por um conjunto de casos de uso que juntos descrevem um comportamento (BOOCH; JACOBSON; RUMBAUGH, 2016). O sistema é representado graficamente por um retângulo que localiza os casos de uso internamente e os atores externamente. Não é incomum em sistemas mais complexos que comportamentos tenham variações a depender de um fluxo de eventos próprio, nesses casos, os desenvolvedores podem fazer uso de fluxos e cenários. O cenário primário define as sequências essenciais de um fluxo, enquanto cenários secundários definem sequências alternativas.

Outro aspecto intrínseco aos casos de uso são os relacionamentos, que podem ser de generalização, inclusão ou extensão (MALAN; BREDEMEYER et al., 2001; BOOCH; JACOBSON; RUMBAUGH, 2016; UNIFIED..., 2017).

Figura 7 – Exemplo de um Diagrama de Casos de Usos



Fonte: Adaptado de (BOOCH; JACOBSON; RUMBAUGH, 2016)

A generalização é uma herança de atributos, comportamentos e extensões para casos de uso, assim, o caso de uso filho participará de todos os relacionamentos do caso de uso pai, mas poderá especializar-se definindo novas sequências de comportamento (UNIFIED..., 2017; MALAN; BREDEMEYER et al., 2001). A generalização implica que o caso de uso filho poderá ser substituído em qualquer ocorrência do caso de uso pai. Também é permitido ao

caso de uso filho sobrescrever os comportamentos do caso de uso pai. A generalização é representada por uma seta de linha contínua e ponta fechada, que parte do caso de uso filho em direção ao caso de uso pai.

A inclusão implica que o caso de uso incorpora explicitamente o comportamento de outro caso de uso em uma localização/situação específica (BOOCH; JACOBSON; RUMBAUGH, 2016). A inclusão é análoga à invocação de uma sub-rotina (COLEMAN, 1998 apud MALAN; BREDEMEYER et al., 2001). A inclusão é representada por uma seta com linha tracejada e ponta aberta que é direcionada ao caso de uso que está sendo incluído, estereotipada com o texto <<include>>.

Já a extensão fornece uma maneira de capturar uma variante para um caso de uso que inclui uma condicionante que deve ser satisfeita para que o comportamento estendido seja executado (MALAN; BREDEMEYER et al., 2001). Para Booch, Jacobson e Rumbaugh (2016), o relacionamento estendido é utilizado para modelar comportamento opcional do sistema ou para modelar um subfluxo separado, executado sob determinadas condições. A extensão é representada graficamente por uma seta com linha tracejada e ponta aberta que é originada do caso de uso estendido e segue em direção ao caso de uso principal, sendo estereotipada com o texto <<extend>>.

2.5.5.2 Diagrama de Atividades

O diagrama de atividades é um dos cinco diagramas da UML para a modelagem de aspectos dinâmicos do sistema (BOOCH; JACOBSON; RUMBAUGH, 2016). A modelagem de atividades mostra o sistema como uma sequência de etapas que compõem um processo complexo, assim como um fluxo de trabalho, onde o foco é colocado nas operações realizadas e não nos objetos envolvidos (BLAHA; RUMBAUGH, 2006).

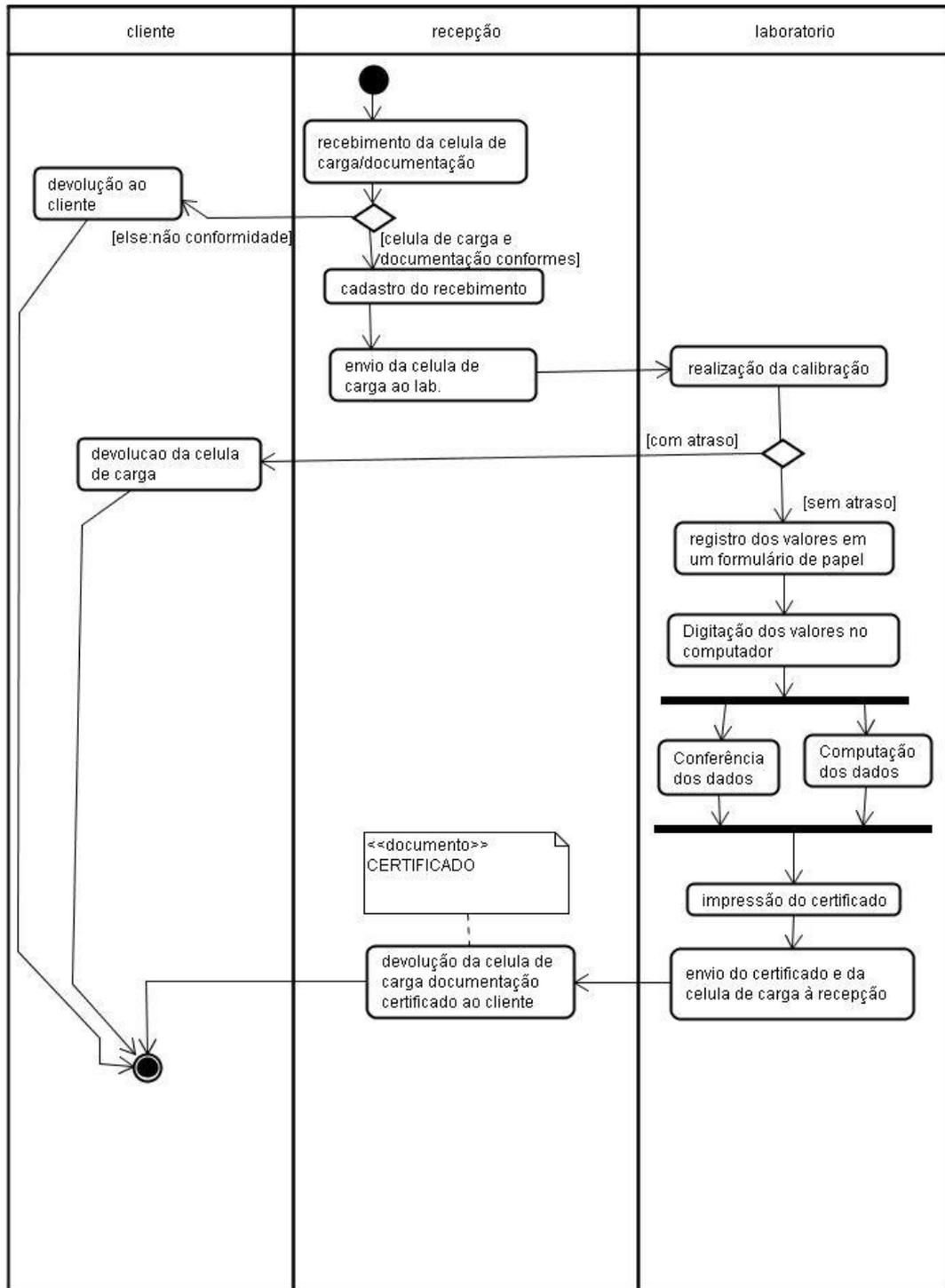
Blaha e Rumbaugh (2006) comparam o diagrama de atividades com um fluxograma tradicional, uma vez que detalha um fluxo de controle passo a passo. No entanto, diferencia-se por representar tanto fluxos de controle sequenciais quanto concorrentes.

Para Booch, Jacobson e Rumbaugh (2016), a atividade deve ser compreendida como uma execução estruturada de um comportamento em andamento. A atividade é uma execução atômica¹³ e pode ser representada por uma máquina de estados, em que cada ação executada resulta na alteração de um estado ou retorno de um valor. Ações podem envolver chamadas para outras ações, envio de sinais, criação ou destruição de objetos, computação pura ou avaliação de condições.

¹³ Atomicidade é uma característica do que não pode ser decomposto. No entanto, em vários contextos na computação, a atomicidade também é usada para descrever um comportamento que não pode ser executado parcialmente. Nesse caso, a atividade é executada integralmente, ou não é executada. Em relação a sua estrutura, ou nível de detalhe, a UML admite que uma atividade seja decomposta em atividades mais precisas (BLAHA; RUMBAUGH, 2006).

Diagramas de Atividades são muito flexíveis e comportam vários símbolos, atributos e elementos para organização disponíveis na UML. A Figura 8 exemplifica a modelagem de um processo real de atividades de calibração realizadas por um laboratório e, sem seguida, serão apresentados alguns dos seus principais elementos.

Figura 8 – Exemplo de um Diagrama de Atividades



Fonte: (SILVA et al., 2007)

Iniciação e Terminação: todo fluxo deve partir de um único ponto. O ponto de iniciação

é representado por um círculo sólido com uma seta inicial para uma atividade. Por conveniência, o diagrama pode ter vários pontos de terminação, sendo representado(s) graficamente por um círculo sólido envolto por um círculo vazado (BLAHA; RUMBAUGH, 2006).

Atividades e ações: são representadas graficamente por elipses alongadas com um texto que indica uma ação/atividade. Uma seta de uma atividade para outra indica que a atividade precedente precisa ser concluída para que seja executada a subsequente (BLAHA; RUMBAUGH, 2006).

Desvios: se uma atividade possui mais de uma atividade subsequente, cada seta pode ser rotulada com uma condição entre colchetes. Tais condições são testadas quando a atividade é concluída. Também é admitida a condição `else`, que será satisfeita caso as demais condições nomeadas não o forem (BLAHA; RUMBAUGH, 2006). São representadas por um losango ou diamante, podendo ser usado para ramificar ou mesclar um fluxo sequencial (BOOCH; JACOBSON; RUMBAUGH, 2016)

Bifurcação e Junção: são representadas graficamente por uma linha horizontal grossa, também chamada de barra de sincronização. As atividades antecedentes que seguem a lógica sequencial confluem para a barra de sincronização, que representa a bifurcação, de onde partem outros fluxos (setas de saída) para atividades que serão executadas concorrentemente (execução paralela). No caso da Junção, a barra de sincronização recebe várias setas como entrada, tendo apenas um fluxo de controle como saída — significando que todas as atividades concorrentes foram concluídas antes de chegar na barra de sincronização (BLAHA; RUMBAUGH, 2006).

Raias: as raias são particionamentos convenientes para comportar alguma organização de domínio ou entidade do mundo real (BOOCH; JACOBSON; RUMBAUGH, 2016). Assim, em um modelo empresarial, as atividades podem ser organizadas em Vendas, Finanças, Marketing etc. Raias são representadas graficamente por colunas ou linhas, recebendo um nome único, de modo a organizar cada atividade sob única responsabilidade. Entretanto, as linhas não são limitadas às raias, podendo atravessá-las e criar interações entre os elementos organizacionais do domínio (BLAHA; RUMBAUGH, 2006; BOOCH; JACOBSON; RUMBAUGH, 2016)

2.6 Programação Funcional

Uma Linguagem de Programação Funcional é normalmente caracterizada pelo uso de programação declarativa, onde a ênfase é colocada inteiramente nos termos da linguagem ou nas expressões, que podem ser nativas da linguagem ou criadas pelo desenvolvedor na forma de funções. Diferentemente da programação imperativa, que enfatiza os estados que as variáveis ou o programa assume, a Programação Funcional pura trabalha com o conceito de imutabilidade, que significa que as trocas de estado são explícitas, de modo que os dados não sejam alterados, mas recriados. Outra diferença importante se dá na construção de *loops*, que nas linguagens imperativas são implementados por sequenciamento, enquanto que nas declarativas

são implementados por recursão (HUDAK, 1989).

Linguagens de programação modernas não são mais ditadas unicamente pelas idiossincrasias de seu paradigma de programação, mas foram incorporando características que podem potencializar a produção de resultados para seus entusiastas, como já exemplificado pelo caso das funções *MapReduce*, em diferentes linguagens, ou mesmo pelas funções *lambda*¹⁴. No entanto, Hudak (1989) aponta algumas características interessantes das linguagens de programação funcional modernas: *Higher-order functions, lazy evaluation, data abstraction mechanisms e equations/pattern matching*.

Higher-order functions, ou simplesmente, Funções de ordem superior, são funções que podem ser armazenadas em estruturas de dados, podem receber outra função como argumento ou ainda retorna-las. Para Hudak (1989), a função é o principal mecanismo de abstração sobre um comportamento, e limitá-la por um conjunto de argumentos e retornos de tipos específicos de dados seria um desperdício. Assim, as Funções de ordem superior podem aumentar a modularidade e permitir colagem de fragmentos de programas pela composição de funções.

Lazy evaluation ou *Nonstrict Semantics* se refere à característica de uma linguagem fazer a avaliação apenas do que realmente importa. Essa característica tem vários reflexos na semântica das linguagens de programação funcional, desde a avaliação de variáveis ainda não declaradas até nas estratégias de compilação/tradução para a ordem de redução, como exemplificado na Figura 9.

$\begin{aligned} & (\lambda x. (+ x x))(* 5 4) \\ \Rightarrow & (+ (* 5 4)(* 5 4)) \\ \Rightarrow & (+ 20 (* 5 4)) \\ \Rightarrow & (+ 20 20) \\ \Rightarrow & 40 \end{aligned}$	$\begin{aligned} & (\lambda x. (+ x x))(* 5 4) \\ \Rightarrow & (\lambda x. (+ x x)) 20 \\ \Rightarrow & (+ 20 20) \\ \Rightarrow & 40 \end{aligned}$
<p>(a) Avaliação rígida (<i>Strict semantics</i>)</p>	<p>(b) Avaliação preguiçosa (<i>Nonstrict Semantics</i>)</p>

Figura 9 – Comparação da ordem de redução entre *Lazy Evaluation* e *Strict Evaluation*.

Fonte: (HUDAK, 1989)

Os Mecanismos de Abstração de Dados ou *Data Abstraction Mechanisms* não são exclusivos de linguagens funcionais. Alguns mecanismos mais conhecidos são Tipagem forte, tipos de dados definidos pelo usuário. Para Hudak (1989), a abstração de dados provê modularidade, segurança e simplicidade aos programas, isso porque os desenvolvedores conseguem abstrair dos utilizadores detalhes de implementação tornando alguns comportamentos proibitivos, como, por exemplo, a violação da tipagem pode trazer inconsistências graves em alguns casos, além do mais, o código tende a se tornar autoexplicativo quando tipos abstratos de dados podem ser definidos e nominados no domínio do problema. Talvez a grande diferença entre os meca-

¹⁴ Funções *lambda* são funções anônimas utilizadas como expressões. Não são formalmente declaradas e normalmente simplificam a lógica das operações e reduzem a quantidade de linhas de código.

nismos de abstração de dados das linguagens funcionais seja a flexibilidade, uma vez que os tipos abstratos não precisam ser formalmente declarados, com cada campo/atributo definido previamente, como se constrói uma classe para um objeto em uma linguagem orientada a objeto, por exemplo. *Datasets* e *dataframes* são estruturas abstradas de dados que comportam uma quantidade indefinida de atributos e tipos concretos, sendo criados e manipulados com o mínimo de burocracia nas linguagens funcionais, a exemplo do Design Ortogonal (HUDAK, 1989).

Equations/Pattern Matching ou raciocínio equacional é a capacidade de abstrair comportamentos que faz com que a função seja o núcleo da programação. Por isso, as linguagens funcionais modernas atuam no sentido de potencializar a expressividade da correspondência de padrões, tendo efeitos bem visíveis na semântica das linguagens (HUDAK, 1989). A recursividade é uma materialização desse raciocínio equacional, assim como as relações de recorrência que são claramente estabelecidas.

2.7 O Ambiente GNU R

O R é definido como um ambiente de computação que oferece um conjunto integrado de recursos de *software* para a manipulação de dados, cálculos e para geração de gráficos. Ele abrange uma linguagem de programação chamada S, que fornece condicionais, *loops* e funções, que fazem uso de uma coleção grande, coerente e integrada de ferramentas para análise de dados e recursos gráficos (R Core Team, 2019). A linguagem de programação S, por sua vez, foi desenvolvida pelos pesquisadores Rick Becker, Jhon Chambers e Allan Wilks, na Bell Labs.

O R foi inicialmente criado por Robert Gentleman e Robert Ihaka, e desde então é mantido como um *software* livre, sob a licença GNU *General Public License*, por uma equipe de desenvolvedores conhecidos por R-Core. Com o tempo, o R ganhou ampla aceitação como um ambiente computacional moderno, confiável e poderoso para computação estatística e visualização de dados, usado em muitas áreas científicas (EGLÉN, 2009). Eglen (2009) afirma que o R é uma linguagem de programação moderna e funcional que inclui recursos de orientação a objetos para o desenvolvimento de *softwares* robustos.

O R incorpora vários paradigmas de programação, sendo possível fazer uso de orientação a objeto para lidar com a complexidade de certos tipos de dados, como também das vantagens da programação funcional para manipular e processar grandes quantidades de dados (MARTINS, 2016). Vários dos elementos em R se traduzem em algum tipo de objeto, sejam variáveis, estruturas de dados ou funções que podem ser manipuladas pelos recursos e operadores da linguagem de programação S, como demonstrado na Figura 10.

As estruturas de dados em R possuem várias classes e abstrações de tipo (tipos, classes, modos). Um objeto pode ser de um tipo (*integer*, *double*, *special*, *builtin* etc) que determina como ele será armazenado na memória e pode ter um modo (*numeric*, *function*, *name*, *logical* etc) como abstrações de tipos. Assim, por exemplo, *integer* e *double* possuem modo *numeric*

(Figura 10(a)(d)). Tipos especiais como NA e Inf são usados para definir dados ausentes e valores infinitos, respectivamente, tendo NA modo lógico e Inf modo numérico.

Figura 10 – Abstrações de tipos em R

<pre>> variavel <- 3 > typeof(variavel) [1] "double" > mode(variavel) [1] "numeric" > class(variavel) [1] "numeric" > attributes(variavel) NULL</pre>	<pre>> variavel <- c(TRUE,FALSE,FALSE,TRUE) > typeof(variavel) [1] "logical" > mode(variavel) [1] "logical" > class(variavel) [1] "logical" > attributes(variavel) NULL</pre>
<p>(a) Estrutura de tipos numéricos</p>	<p>(b) Representação de vetor de tipos lógicos</p>
<pre>> variavel <- function(x) return(x%%2==0) > typeof(variavel) [1] "closure" > mode(variavel) [1] "function" > class(variavel) [1] "function" > attributes(variavel) \$srcref function(x) return(x%%2==0)</pre>	<pre>> variavel <- TRUE > attr(variavel,'data')<-"20 de outubro de 2023" > typeof(variavel) [1] "logical" > variavel[5]<-2 > variavel [1] 1 NA NA NA 2 attr(,"data") [1] "20 de outubro de 2023" > typeof(variavel) [1] "double" > class(variavel) [1] "numeric" > mode(variavel) [1] "numeric"</pre>
<p>(c) Funções também são objetos em R</p>	<p>(d) Flexibilidade de dados em R</p>

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 10(d) demonstra como o mecanismo de abstração de dados é poderoso. A variável é inicialmente criada com um valor *booleano*, logo em seguida, sendo realizada a atribuição de um valor na posição cinco de um vetor (nesse momento, o objeto é recriado para comportar a característica). Automaticamente, ele tem novo tipo, modo e classe. Além disso, a inclusão de atributos pode ser realizada arbitrariamente, sem alterar o tipo do dado, no entanto, existem estruturas de dados especiais, como o caso das funções (Figura 10(c)) que possuem atributos específicos criados pelo próprio ambiente.

Essa flexibilidade permite ao R ultrapassar a classificação típica de dividir dados complexos em estruturados e não estruturados¹⁵, podendo conciliar em um objeto qualquer tipo de estrutura de dados.

Silva, Peres e Boscaroli (2017) esclarecem que existem algumas estruturas de dados que materializam convenções, por exemplo, algumas bases de dados recebem a designação de *datasets*, nomenclatura de uso comum em atividades de análise e mineração de dados. No R, *datasets*

¹⁵ Dados proveniente de bases de dados tipicamente tabulares são estruturados, onde as linhas representam eventos e as colunas representam características. Dados como textos, extraídos de documentos, que não utilizam a organização tabular, são classificados como não estruturados. Há ainda uma terceira categoria, os dados semiestruturados, que possuem algum nível de organização implícita, por exemplo, grafos ou arquivos XML podem ser incluídos nesse grupo (SILVA; PERES; BOSCAROLI, 2017).

são disponibilizadas pela classe *dataframe*, onde cada linha representa uma unidade observacional, objeto ou instância, expresso formalmente por $x \rightarrow i$. Desse modo, um *dataset* X com n exemplares pode ser denotado como $X = x \rightarrow 1, x \rightarrow 2, x \rightarrow 3, \dots, x \rightarrow i, x \rightarrow n$. O *dataset* também descreve as características das observações por atributos¹⁶ ou colunas representados por x_{ij} .

Dataframes é uma estrutura de dados que agrega uma lista de variáveis com o mesmo número de linhas, em que cada linha tenha um único nome — caso as linhas não sejam explicitamente nominadas, então o nome é designado pelo número da linha. Um *Dataframe* é uma estrutura de dados semelhante a uma matriz cujas colunas podem ser de diferentes tipos (numérico, lógico, fator e caractere e assim por diante) (R Core Team, 2019).

Figura 11 – Carregando e analisando a estrutura de um *Dataframe*

```
> dataframe = readRDS(file = './inst/dataframe143L24C.rds')
> str(dataframe)
'data.frame': 143 obs. of 24 variables:
 $ codigo : chr "1500107" "1500131" "1500206" "1500305" ...
 $ municipio : chr "ABAETETUBA" "ABEL FIGUEIREDO" "ACARA" "AFUA" ...
 $ T_LIXO : num 97.9 91.2 78.5 96.9 93.7 ...
 $ T_BANAGUA : num 44.7 63.8 20.2 14.8 72.9 ...
 $ PINTERDRSAI : num 12.64 11.88 5.92 20.9 19.66 ...
 $ AGUA_ESGOTO : num 39.8 26.3 55.7 77 19.5 ...
 $ PFOCOS : num 0.61 0.12 2.59 0.04 0.71 1.54 1.25 6.28 0.05 0.01 ...
 $ PFLORA : num 66.4 34.5 72.7 66.4 44.4 ...
 $ T_ANALF15M : num 13.7 17.8 21.3 28.9 11.8 ...
 $ T_AGUA : num 68.9 91.8 64 26.6 94.4 ...
 $ T_ENV : num 4.91 5.31 4.75 3.81 2.77 5.76 3.72 4.39 3.49 4.06 ...
 $ POP_URB : num 0.564 0.86 0.234 0.259 0.188 ...
 $ MORT5 : num 20.4 19.7 27.5 24.5 20.6 ...
 $ REN_PIBPC_D : num 5.07 6.87 13.5 6 9.29 ...
 $ GINI : num 0.53 0.57 0.53 0.66 0.49 0.58 0.65 0.56 0.62 0.52 ...
 $ THEIL : num 0.53 0.58 0.44 0.65 0.39 0.62 0.79 0.54 0.65 0.48 ...
 $ THEILtrab : num 0.5 0.51 0.35 0.41 0.15 0.52 0.62 0.43 0.54 0.39 ...
 $ RAZDEP : num 55.4 57.8 69.2 82.4 43.6 ...
 $ CPR : num 37.7 21.9 49.8 41 21 ...
 $ P_FORMAL : num 33 26.2 15.2 16.7 31.6 ...
 $ T_ATIV : num 51.1 51.5 55.7 44.6 46.7 ...
 $ RENOCUP : num 0.602 0.892 0.386 0.486 0.627 ...
 $ P_TRANSF : num 9.05 12.32 10.1 5.13 6.92 ...
 $ P_SIUP : num 0.42 0.09 0.22 0.25 0.07 0.32 1.03 0.62 0.87 1 ...
```

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Figura 11 é demonstrado como carregar um *dataset* dentro do ambiente R. O *dataset* automaticamente assume a estrutura de dados da classe *Dataframe*, como pode ser conferido pela Figura 12. O comando `str` abre a estrutura interna do *dataframe* exibindo os atributos do *dataset*, seu tipo/modo (`chr`, `num` etc) e uma prévia dos primeiros valores armazenados. Na Figura 12 é possível perceber que `$names`, `$row.names` e `$class` também são atributos, no entanto, agora são atributos da estrutura de dados, assim, qualquer *dataframe* em R conterà esses três atributos internos, independente da quantidade de colunas/atributos do *dataset* nele carregado. Opcionalmente, o usuário pode atribuir mais atributos, caso necessário.

¹⁶ Atributos de um *dataset* deve ser entendido como uma coluna ou uma lista que armazena um tipo de dado específico, não confundir com os atributos de objetos, que podem ser livremente criados e atribuídos.

Figura 12 – Níveis de abstração de dados em Dataframes

```
> typeof(dataframe)
[1] "list"
> mode(dataframe)
[1] "list"
> class(dataframe)
[1] "data.frame"
> length(dataframe)
[1] 24
> attributes(dataframe)
$names
 [1] "codigo" "municipio" "T_LIXO" "T_BANAGUA" "PINTERDRSAI" "AGUA_ESGOTO" "PFOCOS" "PFLORA" "T_ANALF15M"
[10] "T_AGUA" "T_ENV" "POP_URB" "MORT5" "REN_PIBPC_D" "GINI" "THEIL" "THEILtrab" "RAZDEP"
[19] "CPR" "P_FORMAL" "T_ATIV" "RENOCUP" "P_TRANSF" "P_SIUP"

$row.names
 [1] 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32
[33] 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64
[65] 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96
[97] 97 98 99 100 101 102 103 104 105 106 107 108 109 110 111 112 113 114 115 116 117 ...
[129] 129 130 131 132 133 134 135 136 137 138 139 140 141 142 143

$class
[1] "data.frame"
```

Fonte: Elaborado pelo autor.

3 Trabalhos relacionados

A abordagem mais científica da sustentabilidade é relativamente recente, e ganhou proporções com o debate público do tema, sobretudo quando associado às mudanças climáticas, catástrofes naturais e outros acontecimentos de impacto negativo associados ao mal uso dos recursos naturais. Neste trabalho, optou-se por uma abordagem de pesquisa utilizando uma combinação dos métodos *String* de busca e *Snowball* para a revisão de literatura (SILVA, 2017; DERMEVAL; COELHO; BITTENCOURT, 2020).

Esse trabalho pode ser classificado como uma pesquisa qualitativa e quantitativa, pois apresenta um processo de automatização baseado em *software* com vistas em determinar quais políticas públicas são mais emergenciais para cada município, assim como, calcula em porcentagem o grau de sustentabilidade de cada município a partir do BS.

A partir da definição de palavras-chave, perguntas de revisão e critérios de inclusão e de exclusão, foi conduzida a pesquisa utilizando um método de mapeamento sistemático. Em seguida, os trabalhos foram visitados e conferidos, assim como outras referências citadas pelos trabalhos já avaliados como relevantes ao problema de pesquisa.

Como parte do mapeamento sistemático de revisão da literatura, são definidos previamente parâmetros de busca, Critérios de Inclusão (CI), Critérios de Exclusão (CE), Pergunta de Revisão (PR) e, em alguns casos, Critérios de Qualidade (CQ), com o propósito de limitar o escopo da pesquisa e manter uma avaliação objetiva sobre as contribuições dos trabalhos visitados durante o processo de pesquisa (DERMEVAL; COELHO; BITTENCOURT, 2020).

Critérios de Inclusão - CI

- CI1 Artigos de estudos primários e secundários;
- CI2 Artigos publicados em inglês e português;
- CI3 Estudos que apliquem e avaliem indicadores de sustentabilidade a territórios (Regiões, municípios, bairros etc) no estado do Pará;
- CI4 Artigos que contenham clara descrição do procedimento de coleta de dados;

Critérios de Exclusão - CE

- CE1 Estudos que não tratem sobre o tema da sustentabilidade;
- CE2 Estudos que não apresentem dados para análise ou aplicação de técnicas computacionais;
- CE3 Estudos que não apliquem indicadores ou técnicas para aferição da condição ou nível de sustentabilidade;

CE4 Artigos de opiniões, resenhas ou especulativos;

CE5 Artigos repetidos;

Critérios de Qualidade - CQ

CQ1 Trabalhos que evidenciem os indicadores, variáveis, técnicas ou algoritmos;

CQ2 Objetivos e técnicas bem definidos no *abstract* do artigo;

CQ3 Adequada descrição do contexto e das razões que levaram à escolha do indicador ou algoritmo;

CQ4 Métodos bem definidos e justificados;

CQ5 Resultado claro e discutido;

CQ6 Valor do estudo para a pesquisa e prática;

Os parâmetros de busca são definidos por *String* de busca, palavras-chaves, bases de dados de busca e critérios de aceitação. Os critérios de aceitação costumam ser divididos em critérios de inclusão e exclusão — visando limitar o horizonte de obras lidas durante o processo de revisão da literatura — sendo aplicados a cada obra retornada pela base durante o processo de busca. Deve-se ter em mente que o artigo precisa atender simultaneamente a todos os critérios de inclusão para ser aceito, enquanto que basta atender a um critério de exclusão para ser eliminado. As perguntas de revisão foram aplicadas ao subconjunto de obras que atendem minimamente às necessidades da pesquisa, e que passaram pelos critérios de aceitação, sendo então lidas integralmente pelo pesquisador. Essa amostra deve ser suficientemente grande para permitir uma visão crítica e fundamentada do tema pesquisado (DERMEVAL; COELHO; BITTENCOURT, 2020).

Os parâmetros de pesquisa adotados incluíram artigos completos em idioma português e inglês, publicados em periódicos revisados por pares e presentes na base de dados do *Google Scholar*. A *String* de Busca adotada inclui:

("sustainability"**OR** "sustentabilidade") **AND** (municip*) **AND** ("estado do Pará"**OR** "state of Pará"**OR** "province of Pará")

Delimitou-se os trabalhos primários e secundários que versam sobre a avaliação de sustentabilidade do estado do Pará, tendo em vista a relevância do estado para a região Norte e para o bioma amazônico. Durante a etapa de buscas à base, sentiu-se a necessidade de enfatizar que o indicador está sendo aplicado a uma localidade, por isso, foi incluído na *String* de busca o radical *municip*, retornando assim trabalhos que contextualizem claramente o local de aplicação e aumentando a qualidade dos trabalhos retornados pelo buscador.

Perguntas de Revisão (PR) fazem parte do processo de leitura crítica, podendo ser úteis para registrar informações importantes e para direcionar a atividade de pesquisa, mas também para avaliar a pertinência e qualidade dos trabalhos aceitos (WAZLAWICK, 2009). Com isso em mente, adotou-se as seguintes perguntas:

1. PR1: Quais os principais indicadores de sustentabilidade utilizados para avaliação de municípios do estado do Pará?
2. PR2: Quantos municípios do estado realizam o acompanhamento dos indicadores de sustentabilidade e possuem análises reportadas na literatura técnica ou científica?
3. PR3: Existem *softwares* ou bibliotecas para computação desses indicadores?

Tais questões ajudaram a identificar os principais desafios trabalhados pela literatura científica, além de identificar situações similares ao estudo de caso conduzido neste trabalho. As questões forneceram o plano de fundo para um debate argumentativo mais objetivo entre os conhecimentos contidos nas obras consultadas. Tornando a leitura e a coleta de informações paramétricas e sistemáticas.

Foram selecionados 50 trabalhos pelo processo de busca descrito anteriormente, que, de maneira iterativa, foram refinados à medida que os critérios de inclusão e exclusão eram aplicados. Primeiramente, utilizando título, resumo e conclusão. Desse processo, resultaram 25 trabalhos que foram selecionados para leitura integral, dentre os quais, 15 foram eliminados por atenderem a algum critério de exclusão, enquanto 10 trabalhos foram incluídos na análise.

3.1 Avaliação da Sustentabilidade

Como afirmam Sotto et al. (2019), o governo brasileiro é responsável por implantar agendas globais de sustentabilidade por ser signatário e membro de organizações unilaterais que defendem programas de gestão sustentável, ainda assim, o país não monitora eficientemente as mudanças climáticas que ocorrem no seu território, e até municípios que incorporaram as preocupações ambientais em seus planejamentos locais, não foram exitosos em operacionalizá-las em políticas públicas, demonstrando assim uma preocupação maior com a adequação do discurso do que com a mitigação dos problemas reais.

Para Caiado, Quelhas e Lima (2015), um dos principais entraves para a gestão da sustentabilidade continua sendo os instrumentos de avaliação e monitoramento de seus processos de desempenho, entendendo que, para que sistemas de indicadores promovam contabilidade e controle, devem também ser elaborados com o propósito de evitar ambiguidades na sua interpretação, fornecendo uma visão integrada e conclusiva dos diferentes indicadores individuais. Bellen (2005) também defende que indicadores de sustentabilidade devem ser incorporados como sistemas de gestão que indicam necessidades de atuação, auxiliam no planejamento de

estratégias e que atendam aos objetivos propostos, devendo estar sempre orientados para a utilização da informação com foco no cumprimento de metas e conquista dos objetivos.

Não resta dúvida de que gestores públicos possuem deficiências em monitorar o desenvolvimento sustentável e incorporá-lo nas práticas de gestão. A dificuldade em definir a sustentabilidade de maneira holística e integrada e uma carência educacional na matéria são causas prováveis desse problema (REIGOTA, 2007). No Brasil, salvo poucos trabalhos científicos abrangentes que se propõem a calcular indicadores para todos os municípios, poucos territórios possuem uma análise profunda do seu nível de desenvolvimento, que incorporem características regionais e fenômenos locais para uma análise mais realista da sustentabilidade. Estudos de caso, que algumas vezes são vistos como trabalhos de menor importância, em razão de sua fragilidade de generalização (WAZLAWICK, 2009), são frequentes na temática da sustentabilidade e costumam ser encontrados apenas para municípios que são abrangidos por grandes empreendimentos.

O estado do Pará está no centro do debate que se trava sobre práticas sustentáveis no contexto da Amazônia, uma vez que ele é um dos estados que mais contribui para a devastação da floresta nativa, e concentra 26% dos 50 municípios com pior Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) do Brasil, de acordo com os dados do Atlas do Desenvolvimento Humano. Em função disso, o monitoramento da sustentabilidade precisa ser mantido, estendido e facilitado, sobretudo para os governos subnacionais que fazem parte da Amazônia Legal, em particular, os estados e municípios da região Norte, de modo a viabilizar sua utilização para aprimoramento das PP, para uso mais consciente dos recursos naturais e culturais. Outrossim, o estado tem se destacado pelas atividades de mineração clandestina, pelos incêndios florestais e pela atividade de desmatamento. Atividades que atraem defensores por representar relevância na economia, associadas a atividade agropecuária, agroextrativista e mineração, mas geram impactos na avaliação da sustentabilidade em âmbito nacional (HOMMA, 2012; FISCH; MARENGO; NOBRE, 1998).

Por isso, questionar quais os principais indicadores de sustentabilidade utilizados nos municípios paraenses (PR1) enfatiza a necessidade de encontrar caminhos e aprimorar as técnicas de análise e investigação dos problemas enfrentados em contexto local.

É importante notar o interesse de alguns autores em integrar a sustentabilidade em indicadores de mercado já existentes, tal como Santana et al. (2009), que propôs um índice de competitividade para o comércio de madeiras visando uma análise do aspecto de sustentabilidade dos negócios existentes na região do oeste paraense, sobretudo numa região de intensa disputa agrária (ASSIS, 2020) e alta biodiversidade (G1 SANTARÉM, 2021). O trabalho é relevante do ponto de vista integrativo na medida em que insere a preocupação com a sustentabilidade no Índice de Desempenho Competitivo (IDC) de empresas ou setores da economia. No entanto, é mais uma contribuição para análise de sustentabilidade econômica do que para um acompanhamento da sustentabilidade em nível territorial, embora possa ajudar no desenho de estratégias

de políticas públicas de incentivo a práticas sustentáveis (SANTANA et al., 2009). Já Alves et al. (2013) fizeram uma análise voltada para a indústria de palma, integrando indicadores de certificação no setor de óleo de palma (*Roundtable on Sustainable Palm Oil (RSPO)*) a Análise do Ciclo de Vida (ACV), de modo a identificar fatores ambientais afetados na cadeia agroindustrial da palma, sendo interessante notar que os questionários e métricas são muitas vezes voltadas para a sustentabilidade do negócio, e não da sociedade local em que a indústria está instalada, ainda assim, uma análise séria e imparcial do autor identificou oportunidades de melhoria fundamentais em relação ao uso de água.

No estudo de Junior, Farias e Kato (2016) são destacadas conferências mundiais que objetivaram a produção de ferramentas que pudessem mensurar o desenvolvimento sustentável. O trabalho também destaca que, no contexto da produção agrícola, o crescimento sustentado é entendido como a capacidade de uma localidade se manter produtiva de modo socioambiental ao longo do tempo, dando continuidade aos processos de reprodução socioeconômica e cultural das sociedades atuais e futuras. No entanto, os autores perceberam que, apesar dos esforços, os métodos para avaliar a sustentabilidade sob múltiplas dimensões permanecem vulneráveis à subjetividade e a ferramentas computacionais. O estudo também aponta que os indicadores de desenvolvimento sustentável são úteis para a comparação de sistemas agroflorestais, provando a eficiência produtiva desses sistemas em relação à monocultura e a outras práticas não sustentáveis.

Outros indicadores também podem ser associados de modo a viabilizar a interpretação de um estado de bem-estar humano e ambiental, como o Sistema de Indicadores de Sustentabilidade Urbana (SISU) utilizado por Ferreira e Vieira (2018) para avaliar o desenvolvimento sustentável experimentado por municípios que compõem a região metropolitana de Santarém, que tem vivenciado recente processo de urbanização. O sistema de indicadores aplicado pelos autores combina o IDHM com Índice de Qualidade Ambiental (IQA) e um Índice de Capacidade Político-Institucional (ICP) em que sua computação depende de processos de normalização e agregação pela média, procedimento que, apesar de dificultar, em certa medida, a interpretação direta do indicador, consegue conciliar o fenômeno em diferentes dimensões, e, como veremos adiante, não é incomum na ciência, sobretudo nas ciências sociais e econômicas.

Cardoso, Toledo e Vieira (2014) utilizaram o BS para avaliar o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB) nos municípios que compõem o Polo paraense de produção de biodiesel, com foco no município de Moju, em relação à dimensão institucional da Sustentabilidade. Para os autores, a dimensão institucional evidencia a capacidade de um município de executar PP, fiscalizar e fazer valer interesses coletivos perante a exploração de atividades econômicas que ameaçam recursos naturais. Pelo BS, a dimensão institucional foi classificada com nível intermediário de sustentabilidade, sendo, portanto, capaz de implantar e operacionalizar projetos com algumas limitações. Durante investigações, os autores identificaram fragilidades da gestão municipal em atividades de fiscalização de termos de ajustes de conduta e na cobrança por programas de inclusão social.

O BS também foi aplicado por Vale et al. (2020) para a avaliação do nível de sustentabilidade nos 26 municípios paraenses que fazem parte do “arco do desmatamento”, que historicamente são focos de políticas públicas de preservação da floresta, no entanto, ainda concentram vários dos alarmes de devastação da floresta (OVIEDO; LIMA; AUGUSTO, 2021). O estudo acaba por concluir, como outros trabalhos, que o desmatamento contribui pouco para a economia brasileira (CARDOSO; TOLEDO; VIEIRA, 2016; HOMMA, 2012) e demonstra que as políticas públicas foram efetivas no controle do desmatamento dentro dos municípios acompanhados, com ações de fiscalização, comando e controle realizadas também sobre o setor comercial (frigoríficos, açougues, madeireiras, marcenarias etc), o que ajudou a coibir o desmatamento para a agropecuária e o comércio de madeira. No entanto, existe outro vetor do desmatamento e de focos de queimada, que está relacionado ao preço da terra. Tendo em vista que, nesses municípios, a terra com pasto ou desmatada vale mais que a terra com floresta, há que se incluir essa dimensão político institucional nas políticas públicas, seja por um processo de vistoria ambiental no momento da compra/venda ou aumentando o Imposto Territorial Rural (ITR) para terras desmatadas, com o intuito de inibir a prática de queimar e derrubar para vender.

Já Vale et al. (2020) realizaram um trabalho de monitoramento do desmatamento da Amazônia paraense. Para isso, os autores aplicaram o Barômetro da Sustentabilidade com o intuito de avaliar o impacto das políticas públicas de combate ao desmatamento. Os resultados indicam que, após o acompanhamento, os municípios atendidos foram reclassificados de potencialmente insustentável para intermediário.

Indicadores sintéticos, tais como os compostos pelo BS ou pelo SISU, são poderosas ferramentas para análise multidimensional da sustentabilidade. No estudo de Ferreira e Vieira (2018) foi possível observar que o descompasso observado entre a evolução do IQA e do ICP presente nos municípios analisados não refletiram na melhoria da qualidade ambiental.

Tabela 7 – Resumo dos artigos incluídos e principais indicadores de sustentabilidade

#	Artigo	Indicador
1	Junior, Farias e Kato (2016)	MESMIS (MASERA et al, 1999)
2	Resque e Silva (2017)	MESMIS (MASERA et al, 1999)
3	Silva e Vieira (2016)	Barômetro da Sustentabilidade (PRESCOTT-ALLEN, 1995)
4	Cardoso, Toledo e Vieira (2016)	Barômetro da Sustentabilidade (PRESCOTT-ALLEN, 1995) Barômetro da Sustentabilidade (PRESCOTT-ALLEN, 1995)
5	Crispim et al. (2020)	Índice de Desenvolvimento Sustentável para Municípios (IDSM) e Índice de Desenvolvimento Sustentável para Municípios Participativos (IDSMP)
6	Vale et al. (2020)	Barômetro da Sustentabilidade (PRESCOTT-ALLEN, 1995)
7	Souza et al. (2019)	Matriz de Indicadores de Sustentabilidade para a Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos (SANTIAGO E DIAS, 2012)
8	Cardoso, Toledo e Vieira (2014)	Barômetro da Sustentabilidade (PRESCOTT-ALLEN, 1995)
9	Ferreira e Vieira (2018)	Barômetro da Sustentabilidade (PRESCOTT-ALLEN, 1995)
10	Camacho e Farias (2021)	Barômetro da Sustentabilidade (PRESCOTT-ALLEN, 1995)

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com a revisão da literatura, foi possível constatar que, apesar dos diferentes cenários e

contextos de medição de indicadores de sustentabilidade, houve uma prevalência do indicador do Barômetro da Sustentabilidade nos municípios paraenses, seguido pelo indicador Marco para a Avaliação de Sistemas de Manejo de Recursos Naturais Incorporando Indicadores de Sustentabilidade (MESMIS) para avaliação de sustentabilidade em sistemas agroflorestais (RESQUE; SILVA, 2017), conforme demonstrado na Tabela 7.

A pergunta de revisão (PR2) investiga quais cidades tiveram estudo sobre sustentabilidade publicado e tendo a resposta extraída da mesma base bibliométrica, sendo identificado um total de 43 municípios incluídos nos estudos, no entanto, vale destacar que o trabalho de Crispim et al. (2020) incluiu na sua análise os 144 territórios, no entanto sua avaliação se limitou ao desempenho do algoritmo e não teceu análises sobre os efeitos dos indicadores calculados. Na Tabela 8 vemos como essas análises se distribuem a nível regional dentro do estado do Pará, dando destaque às contribuições de Vale et al. (2020), que analisaram 26 municípios da região sudoeste e sudeste paraense que fazem parte do arco do desmatamento, e de Silva e Vieira (2016) que analisaram assentamentos da reforma agrária em 09 territórios paraenses.

Tabela 8 – Quantidade de municípios por mesorregião que tiveram estudos de sustentabilidade considerados na revisão da literatura

Mesorregião	Quantidade de municípios	Quantidade de estudos
Baixo Amazonas	14	4
Marajó	16	2
Metropolitana de Belém	11	1
Nordeste Paraense	49	16
Sudeste Paraense	39	13
Sudoeste Paraense	14	7
Total	144	43

Fonte: Elaborado pelo autor.

Em relação à pergunta de revisão (PR3), utilizando os parâmetros de busca descritos e o melhor esforço, não foram encontrados trabalhos enfatizando ferramentas de *software* para a computação de indicadores de sustentabilidade que atendessem aos critérios de inclusão e exclusão. Muito embora Crispim et al. (2020) tenha utilizado algum recurso computacional para a atividade de clusterização dos dados analisados, não foram disponibilizados detalhes técnicos em relação a sua implementação ou execução.

Apesar disso, a metodologia de Snowball permitiu o contato com trabalhos cuja proposta envolvia a apresentação de soluções em *software*, como é o caso de RIGHES et al. (2012), que comunica uma calculadora virtual com um modelo matemático que permite a computação do indicador Pegada Ecológica (COSTANZA, 2000) ou uma estimativa de emissões de gases do efeito estufa, sendo útil no contexto da pecuária brasileira, que pode se beneficiar da contribuição aumentando a eficiência em função do comprometimento com a sustentabilidade ambiental.

A sustentabilidade ambiental tem como foco a preservação dos recursos naturais, o que

inclui a água, solo e a biodiversidade. No entanto, os recursos hídricos estão entre os mais sensíveis em relação à vulnerabilidade às atividades antrópicas (PLUMMER; LOË; ARMITAGE, 2012; HURD et al., 1999; KULSHRESHTHA, 1998). Coelho et al. (2019) propõem uma solução composta de *hardware* e *software* para monitoramento do consumo de água, com o intuito de evitar o desperdício, trabalhando com métricas físicas (vazão, velocidade e perda de carga). No entanto, como vimos na Seção 2.1, indicadores de sustentabilidade possuem a característica de proporcionar avaliação qualitativa, diferentemente de métricas isoladas.

A sustentabilidade ambiental também foi abordada por FRANÇA et al. (2013), apresentando um *software web* para cálculo de um indicador de Emergia (ODUM, 1986). No trabalho, são detalhados aspectos de projeto e implementação de uma aplicação em quatro camadas: dados, lógica, apresentação e cliente. A camada de dados se refere aos aspectos de organização do banco de dados relacional. Já a camada de lógica implementa o cálculo do indicador e algoritmos. A camada de apresentação implementa o sistema que irá interagir com o usuário através de páginas, formulários, gráficos etc. Enquanto a camada de cliente é detalhada como a incorporação de navegadores utilizados e os respectivos testes para garantir boa usabilidade. No entanto, não foi constatada a aplicação do indicador, deixando em aberto o procedimento claro de coleta de dados e a metodologia de aplicação a um território.

No trabalho de Barros e Barden (2019) é realizada a avaliação da sustentabilidade holística com o Barômetro da Sustentabilidade para os municípios de uma região cearense. A publicação menciona a utilização de um *software web* para a computação do indicador em linguagem PHP, e outro *software*, desenvolvido em linguagem R, para coleta de dados e análises quantitativas e qualitativas de dados textuais, o IRAMUTEQ (RATINAUD, 2009). O trabalho deu importantes detalhes do *software* de apoio para análise textual, demonstrando o potencial de análise de documentos de planejamento municipal, com o intuito de analisar o desempenho no que tange à sustentabilidade institucional, no entanto, poucos detalhes foram dados em relação ao sistema de processamento do BS. Além disso, o uso de diferentes ferramentas para coleta, processamento e análise deve aumentar o esforço empreendido, à medida que aumenta a complexidade da interoperabilidade das estruturas de dados manipuladas.

3.1.1 BS e a Redução de Dimensionalidade

A Fundação de Amparo a Estudos e Pesquisas (FAPESPA) divulgou em 2019 relatórios de avaliação da sustentabilidade, utilizando a metodologia do BS, para os municípios paraenses de Bom Jesus do Tocantins, Brejo Grande, Canaã dos Carajás, Castanhal, Curionópolis, Eldorado dos Carajás, Marabá, Parauapebas, Piçarra, São Domingos do Araguaia, São Geraldo do Araguaia, São João do Araguaia e Palestina do Pará. Os 13 municípios foram avaliados utilizando nove temas, em dois eixos de bem-estar: humano e ecossistêmico.

Ao todo, foram utilizadas 26 variáveis, de diferentes fontes de dados. No eixo de Bem-estar Humano foram avaliadas as seguintes temáticas e, em parêntesis, a quantidade de variáveis

que compõem: Saúde e População (5), Riqueza (5), Conhecimento e Cultura (6), Comunidade (3) e Equidade (1). Já no eixo de Bem-estar Eco-sistêmico foram avaliados os temas: Terra (2), Água (2), Ar (1) e Uso dos Recursos Naturais (1).

No trabalho publicado por [Camacho e Farias \(2021\)](#) foi desenvolvida uma aplicação em *software* GNU R com o intuito de facilitar a geração dos indicadores utilizando as mesmas variáveis adotadas nos relatórios oficiais do órgão estadual, além disso, foi avaliado no trabalho a hipótese de redução da dimensionalidade como uma alternativa para melhorar o tempo de coleta de dados para outros municípios. Utilizou-se dois métodos de redução de características: o método baseado em correlação de *Pearson* e o método Análise de Componentes Principais (*Principal Component Analysis*) ([PCA](#)).

O algoritmo proposto no trabalho dos autores foi importante para definir um processo de geração do [BS](#) em etapas comparáveis ao processo de descoberta de conhecimento ou *Knowledge Discovery in Databases* ([KDD](#)), de modo a prover uma sistemática que reduz a subjetividade no processo, sendo constituído pelas etapas de 1) Extração, 2) Pré-processamento e Cálculo e 3) Análise. Além da redução de subjetividade, o *framework* permite que as etapas sejam calibradas pelo melhoramento contínuo dos métodos aplicados.

A metodologia aplicada no artigo considerou os seguintes fatores: i) algoritmo de seleção de características (Correlação e [PCA](#)) e ii) quantidade de variáveis por eixo de bem-estar (3,4 e 5 variáveis), resultando em 06 diferentes cenários. Além disso, o [BS](#) foi computado com todas as 26 variáveis, para permitir a aplicação de teste estatístico de paridade com intervalo de confiança de 95%, a fim de identificar diferença estatística significativa.

O trabalho demonstrou que o método de [PCA](#) com 05 variáveis por eixo de bem-estar foi o arranjo com melhor desempenho estatístico. Portanto, foi concluído que com 10 variáveis selecionadas pelo método [PCA](#) — sendo 05 variáveis no eixo de bem-estar humano e 05 no eixo de bem-estar ecossistêmico — foi possível classificar corretamente 73,08% dos municípios. As variáveis mais representativas para o eixo de bem-estar ecossistêmico ([EWI](#)) foram: 1 - Cadastro Ambiental Rural, 2 - População em domicílios com água encanada, 3 - População em domicílios com banheiro, 4 - Focos de calor e 5 - Desmatamento. Por outro lado, as variáveis mais representativas para o eixo de bem-estar humano ([HWI](#)) foram: 1 - Acesso à Internet, 2 - Trabalho infantil, 3 - Taxa de atividade, 4 - Extrema Pobreza e 5 - Acesso à energia elétrica.

Os resultados demonstram que o trabalho gasto na etapa de extração dos dados pode ser minimizado pelo balanceamento entre número e qualidade de variáveis incluídas. Quanto mais variáveis incluídas, maior o trabalho do pesquisador na definição da Escala de Desempenho Municipal e também na coleta dos dados a nível municipal. Dessa forma, a metodologia seria particularmente útil a órgãos públicos de pesquisa como a [FAPESPA](#) e a outros órgãos implementadores de políticas públicas, que poderiam ampliar o número de municípios atendidos.

4 Software para Monitoramento do Desempenho de Sustentabilidade

Neste capítulo serão apresentadas as principais atividades desenvolvidas para consecução dos objetivos propostos em uma metodologia para a computação do Barômetro da Sustentabilidade (BS), desde a aquisição dos dados até o processamento e apresentação dos resultados, sejam eles tabulares, gráficos ou mapas temáticos incluídos na solução desenvolvida.

As sessões que constituem o capítulo são dispostas da seguinte forma: na seção 4.1 são apresentados os elementos de projeto e arquitetura de *software*: Requisito Funcional (RF), Requisito Não-Funcional (RNF), diagramas UML e demais artefatos documentais; enquanto que na seção 4.2 são apresentados os processos internos, fluxos de dados, operações e detalhes em nível de implementação em linguagem de programação.

4.1 Análise e Projeto do Sistema

A abordagem de engenharia de requisitos foi realizada a partir das problemáticas identificadas no processo de revisão da literatura e sucintamente apresentados na seção de justificativa. O levantamento de requisitos seguiu o processo de pesquisa baseado em evidências discutido na sessão anterior, sendo os artefatos de projeto e a arquitetura de software produzidos e aprimorados num processo ágil de desenvolvimento e aprimoramento do produto.

Os principais requisitos funcionais elicitados foram:

- RF1: Carregar de maneira automatizada dados de diferentes fontes de dados;
- RF2: Gerar estatísticas descritivas dos *inputs*¹;
- RF3 Executar procedimentos automatizados de tratamento de dados e validação dos *inputs*;
- RF4: Reduzir a subjetividade do processo de seleção de variáveis por meio de algoritmos computacionais;
- RF5: Computar o Barômetro da Sustentabilidade em linguagem de programação;
- RF6: Gerar mapas temáticos;
- RF7: Gerar gráficos bidimensionais do nível de Bem-Estar estimado pelo BS.

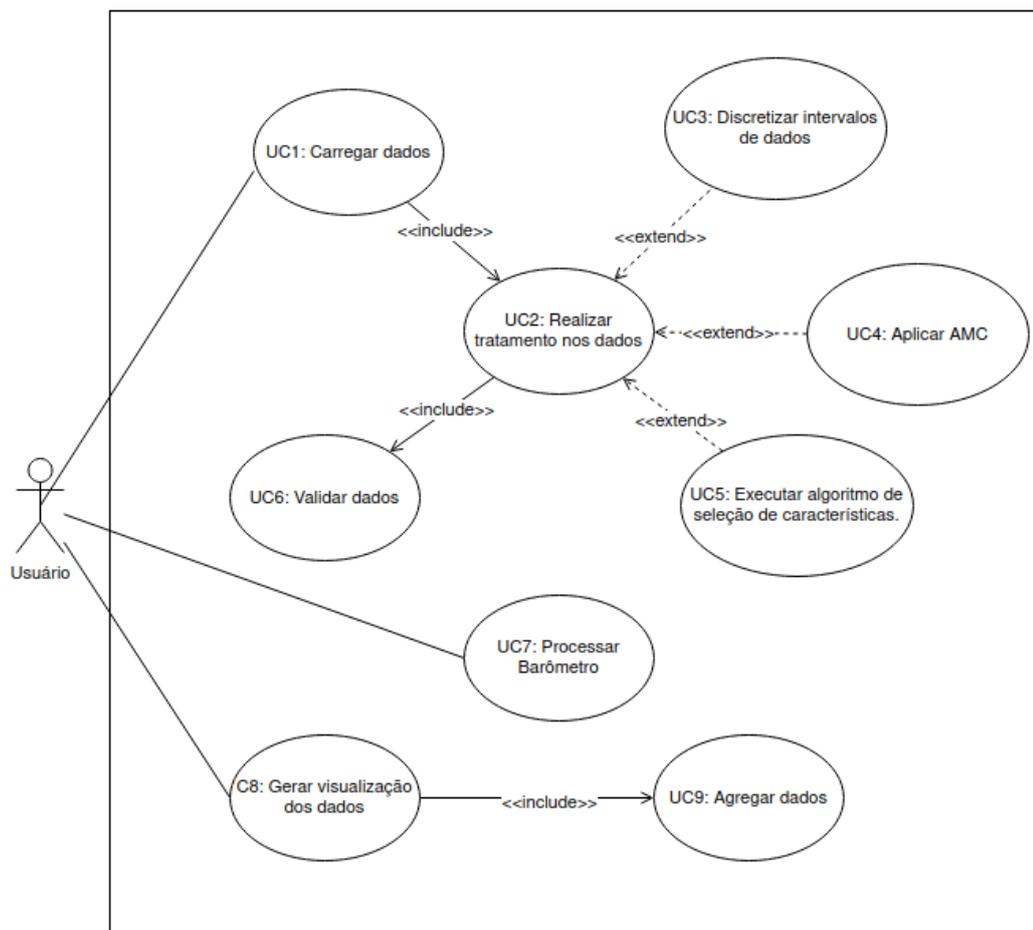
Os principais requisitos não funcionais foram:

¹ Em Ciência da Computação, *input* é um conjunto de dados esperado como entrada para um determinado algoritmo. A partir desta sessão o termo ganhará preferência de uso.

- RNF1: Implementar o BS em linguagem de programação familiar à área de ciências biológicas e estatística;
- RNF2: Desenvolver uma solução escalável e customizável que permita exportação de variáveis, índices, gráficos e mapas;
- RNF3: Incorporar as variáveis mais comumente usadas em trabalhos anteriores;
- RNF4: Dar preferência para coleta de dados de fontes públicas e em formatos livres e acessíveis por máquinas, tais como: APIs, servidores FTP, arquivos CSV, ZIP, TXT etc.

Os Requisitos Funcionais são representados por Caso(s) de Uso (*Use Case*) (UC), devido sua capacidade de simplificação na representação dos problemas, facilitando o entendimento do usuário, conforme a Figura 13.

Figura 13 – Diagrama de Casos de Uso



Fonte: Elaborado pelo autor.

O UC1 é responsável por representar o carregamento dos dados, cujo propósito é armazenar os dados transformados em bancos de dados intermediários ou repositórios finais. Este caso

de uso atende o RF1, tendo em vista que o processo de coleta de dados envolveu a aquisição de informações de diferentes fontes e pesquisas, assim como de diferentes anos. A linguagem R inclui uma série de recursos de terceiros que podem ser facilmente incorporados para aquisição de dados, a exemplo do microdatasus (SALDANHA; BASTOS; BARCELLOS, 2019), do Atlas do Desenvolvimento Humano² ou do basedosdados.org (DAHIS et al., 2022), que também foram usados no projeto.

O UC2 representa a seleção das variáveis disponíveis para incluir no cálculo do BS, tendo em vista que após a etapa de coleta, as bases de dados podem conter uma grande quantidade de atributos. A seleção é feita com o apoio de uma análise exploratória sobre a base de dados, por meio de estatísticas descritivas (RF2) que permitam ao usuário visualizar as principais métricas estatísticas para cada uma das variáveis existentes na base. Com o uso da ferramenta, o usuário poderá selecionar variáveis para cada um dos eixos de análise (humano e ecossistêmico) e definir dimensões, temas ou mesmo utilizar outras abordagens de estratificação que forem mais condizentes com o tipo de estudo. Opcionalmente, o usuário poderá utilizar algoritmos computacionais suplementares para apoiar suas atividades, por exemplo, o algoritmo de discretização de dados (UC3), aplicação da Área Mínima de Comparação (UC4) ou a seleção de características (UC5). O Caso de Uso poderá agregar outros algoritmos de tratamento de dados de maneira modular e opcional, além disso, ele deve, obrigatoriamente, ter uma rotina de validação dos dados (UC6) para garantir que não ocorrerá erros no processamento do BS (UC7). Há que se destacar que a aplicação de métodos computacionais contribui para atenuar vieses, reduzindo assim a subjetividade no processo (RF4).

O UC3 indica a possibilidade de fazer uso de um algoritmo de discretização de dados, pela aplicação de métodos computacionais não supervisionados, para converter uma variável contínua em uma variável categórica, sendo particularmente útil caso o usuário não tenha parâmetros para gerar a EDM de uma variável. A técnica de *data binnig* utilizada nesta etapa é a discretização por intervalos, tendo em vista que é necessária a criação de cinco intervalos para o cálculo do BS. A função que implementa o algoritmo de discretização precisa considerar a tendência da variável, ou seja, quando a variável apresenta um valor baixo/alto significará uma melhora ou uma piora no desempenho, para tanto, o *input* deve receber pelo menos dois parâmetros, sendo o primeiro o vetor com os dados contínuos da variável sendo tratada, e um valor *booleano* indicando se a tendência é crescente (verdadeiro) ou decrescente (falso). O Caso de uso contribui para o atendimento do RF3.

O UC4 indica a possibilidade de realizar a compatibilização territorial dos dados pela aplicação da Área Mínima de Comparação (AMC), a fim de atender o RF3. O algoritmo implementado é útil no conjunto de dados se houver variáveis de diferentes anos (havendo inconsistência na malha territorial representativa para os dados). Um exemplo útil para ilustrar

² Projeto mantido pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento - PNUD. O Atlas Brasil é um site de consulta ao IDHM e a mais de 200 indicadores de desenvolvimento humano dos municípios e estados brasileiros. Disponível pelo site <https://atlasbrasil.org.br>

o UC, seria a hipótese em que usuário desejasse incluir a variável de T_ANALF15M (Taxa de analfabetismo da população de 15 anos ou mais de idade) que é fornecida pelo Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais (INEP) para o ano de 2017, quando já existia no estado do Pará o município de Mojuí dos Campos. Ao adicionar a variável no conjunto de dados com variáveis de 2010, ano em que o município não existia, imediatamente surgiria uma quantidade enorme de valores ausentes na base. Neste caso, a função que aplica o AMC nos dados é responsável por somar os dados de Mojuí dos Campos aos registros do município de Santarém, do qual o município foi desmembrado. Para fazer uso da função que implementa o UC4, o usuário precisa fornecer como *input* um *dataframe* e indicar o nome da coluna que identifica o município no *dataframe* (preferencialmente, fornecer código IBGE e nome como identificador). No momento, a conversão está implementada para duas malhas territoriais dos anos de 2010 e 2015.

O UC5 possibilita a aplicação de técnicas de seleção de características na base de dados, contribuindo para o atendimento do RF3 e RF4. O trabalho implementa a técnica de PCA para seleção automática de atributos, conforme detalhado na seção 3.1.1. A função implementada receberá como *input* o *dataframe* contendo a base de dados, como primeiro argumento, e um valor inteiro positivo indicando um número máximo de variáveis que desejará considerar. Assim, se a base contiver 50 atributos e o usuário desejar incluir apenas 7, ele poderá indicar o valor como argumento. Caso o limitador não seja fornecido, o retorno será uma tabela com as variáveis e seus respectivos pesos calculados pelo algoritmo PCA, em ordem decrescente.

Uma vez que o usuário tenha realizado a seleção das melhores variáveis e as tenha organizado e classificado em eixos, é realizado um conjunto de rotinas que validam se o *dataframe* apresenta inconsistências (UC6), entre elas: 1) Tipos de variáveis: os atributos que serão utilizados no cálculo do BS precisam ser numéricos; 2) Dados ausentes: é importante que não existam linhas com dados ausentes, pois isso gerará inconsistência no valor calculado do BS, portanto, a existência de dados ausentes pode indicar que a variável não é boa, ou ainda, que o usuário precisa aplicar o AMC para compatibilizar os dados; 3) Estrutura do *input*: o *dataframe* deve conter pelo menos um campo que identifique o território — podendo ser o código IBGE (07 dígitos para município) e/ou nome do município — seguido pelas variáveis numéricas que serão descritas na Tabela 9 do Capítulo 5.

Além disso, o *dataframe* da EDM também tem sua estrutura validada, de modo que contenha colunas indicando o eixo, a dimensão, o indicador, a descrição, os níveis/intervalos (uma coluna para cada um dos cinco níveis) e o atributo *booleano* que indica a tendência da variável (Crescente: Verdadeiro/Falso).

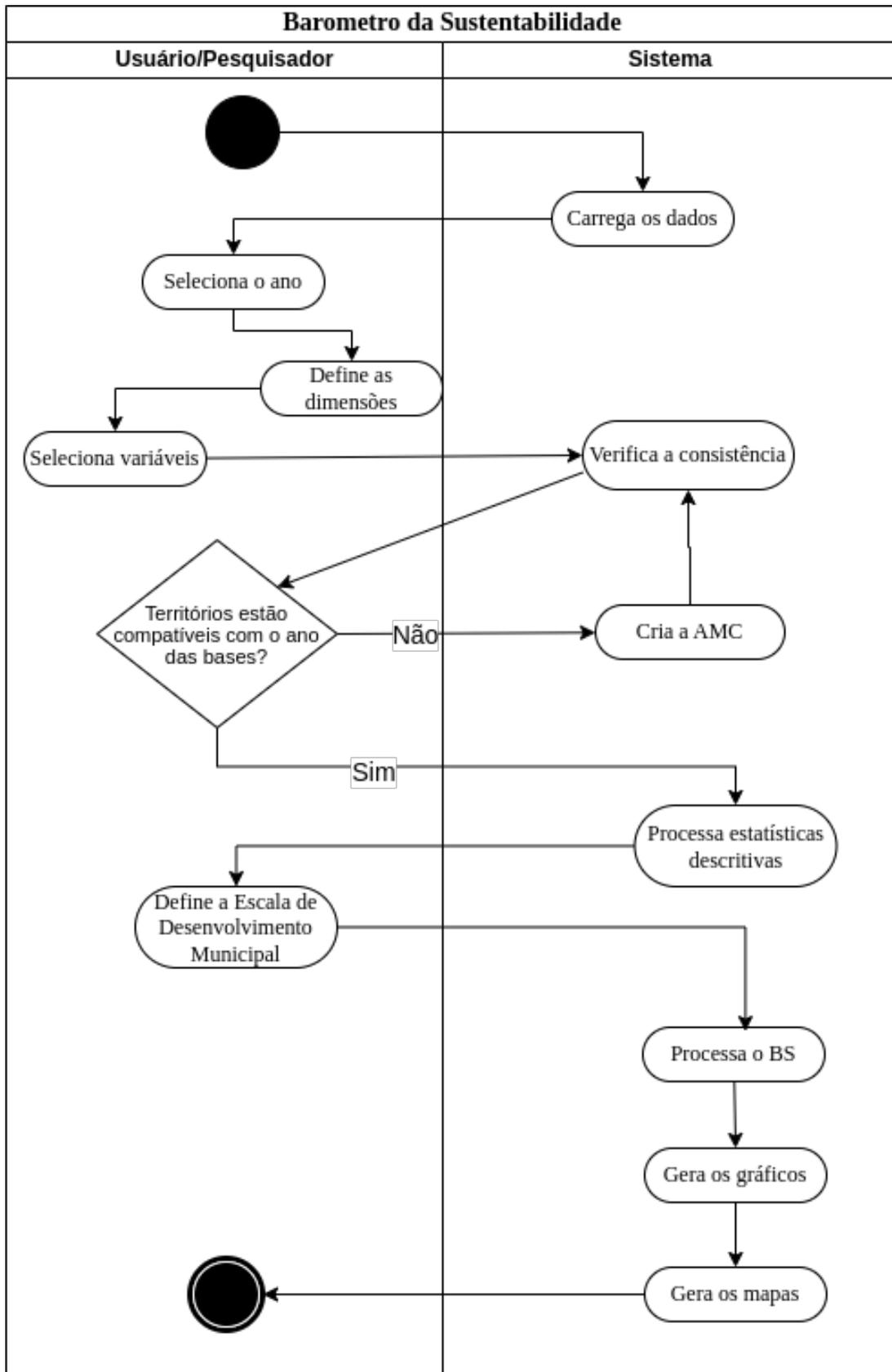
O UC7: Processar o Barômetro, inclui a implementação da função de cálculo do indicador (RF5) que recebe como entrada o valor da variável para um determinado município, juntamente com a Escala de Desempenho Municipal, e converte o valor para a Escala do BS. Além de implementar a Equação 2.1, cuja rotina precisa verificar o intervalo correspondente da variável

na EDM para cada combinação território x variável. Assim, foram desenvolvidas várias funções, de modo que o usuário precise fornecer como *input* apenas dois *dataframes*: a base contendo os dados municipais e a EDM.

O UC8: Gerar tabelas, mapas e gráficos, é uma das etapas mais importantes para análise dos resultados do BS, cujo valor é quantitativo, ou seja, um valor contínuo numa escala de 0 a 100. A escala do BS é dividida em 05 níveis, que qualificam o município como: Insustentável, Potencialmente Insustentável, Intermediário, Potencialmente Sustentável e Sustentável. Esses níveis discretos fazem parte da análise de sustentabilidade e são usados para classificar o território analisado. Além disso, são instrumentos didáticos e pedagógicos de extrema importância no entendimento dos problemas envolvidos, como também para comunicar os resultados aos principais interessados (lideranças, agentes públicos e a sociedade). O Caso de Uso atende os Requisitos Funcionais RF6 e RF7, além de que todos os artefatos manipulados podem ser facilmente exportados pelos usuários, de modo a atender o RNF2.

Outro artefato bastante utilizado para representar um sistema é o Diagrama de Atividades, por meio do qual podemos detalhar o comportamento do sistema como um conjunto de ações encadeadas logicamente. No contexto do *software* para monitoramento do desempenho de sustentabilidade desenvolvido em paradigma de linguagem funcional, o diagrama de atividades é detalhado na Figura 14.

Figura 14 – Diagrama de atividades



Fonte: Elaborado pelo autor.

Carrega os dados: o sistema já tem um conjunto de variáveis que usualmente são

utilizadas na avaliação de sustentabilidade municipal pelo **BS**. No entanto, o usuário pode ignorar a base de dados interna e utilizar as suas próprias variáveis, ou ainda, incluir suas variáveis no conjunto de dados. Em todos os casos, as variáveis precisam estar carregadas no ambiente R, preferencialmente em um *dataframe*.

Seleciona o ano: a base de dados interna inclui uma série histórica de variáveis censitárias (anos 1990,2000 e 2010), como também de variáveis administrativas (2000,2013,2017 etc). O usuário pode então realizar uma operação de *subset*, filtrando os dados de acordo com o ano de interesse.

Define as dimensões: a base de dados interna inclui uma coluna com a dimensão de análise para cada variável (econômica, social e ambiental), no entanto, o usuário também pode manipular o *dataframe* editando o modo como as variáveis são agrupadas em dimensões. Caso o usuário tenha carregado seus próprios dados, também é necessário criar uma coluna para classificar as variáveis em dimensões, ou ainda, em dimensão e tema, dependendo do rigor de suas análises em relação à estratificação dos dados.

Seleciona as variáveis: essa ação faz parte, ainda, das atividades de **ETL**. Após a carga, e transformações necessárias, o usuário poderá visualizar o conjunto de dados para avaliar se de fato todas as variáveis entrarão no cálculo do índice do BS. Nessa atividade, ele poderá avaliar se as variáveis estão bem distribuídas ou ainda se estão equilibradas em relação às dimensões, de modo a selecionar aquelas que de fato sejam mais significativas.

Verifica a consistência: essa atividade visa identificar e tentar corrigir o problema de dados ausentes. Caso o usuário tenha selecionado uma variável em um determinado ano, no qual nem todos os municípios tenham dados disponíveis, o cálculo do Barômetro não poderá ser feito. Uma abordagem indicada para corrigir os dados ausentes em bases de dados de territórios é a **AMC**.

Territórios estão compatíveis com o ano das bases?: nessa atividade, o usuário poderá avaliar a necessidade de harmonizar os territórios, de modo a resolver os problemas de dados ausentes verificados ou não na etapa anterior. Vamos supor que o usuário seleciona variáveis de anos diferentes, Proporção de domicílios com água encanada (2010) e Desempenho no Índice de Desenvolvimento da Educação Básica (**IDEB**) (2017), essas escolhas irão gerar um número diferente de municípios para cada um desses anos, pois em 2017 constará o município Mojuí dos Campos, que em 2010 ainda fazia parte de Santarém, ocasionando dados ausentes para a variável Desempenho no **IDEB**. Nessa atividade, o usuário poderá escolher [Não] para realizar o tratamento pela atividade e **Cria a AMC** ou [Sim] para seguir com a atividade **Processa estatísticas descritivas**.

Cria a AMC: nessa atividade, o sistema irá ajustar os municípios para o arranjo territorial mais antigo, assim, na situação de existência de variáveis de 2010 e 2017, os municípios que não existiam em 2010 serão convertidos para o território do qual ele foi desmembrado e o valor será

agregado. No caso do exemplo anterior, o município de Mojuí dos Campos será rotulado como Santarém e os valores serão somados.

Processa estatísticas descritivas: nessa ação, o sistema irá calcular as principais estatísticas descritivas para o conjunto de dados, como média, moda, quartis, máximo, mínimo, entre outros. Tal informação é importante para verificar anomalias na definição da EDM.

Define a Escala de Desenvolvimento Municipal: a Escala de Desenvolvimento Municipal é um *dataframe* que contém os intervalos arbitrados pelo pesquisador para os cinco níveis de sustentabilidade de cada variável. Algumas variáveis possuem níveis de referência. Por exemplo, a Organização Mundial de Saúde estabelece que a variável número de leitos por mil habitantes deve estar entre 3 a 5 leitos. Com essa informação, o pesquisador pode definir o seguinte intervalo para a variável: [0 a 1[- nível Insustentável, [1 a 2[- nível Potencialmente Insustentável, [2 a 3[- nível Intermediário, [3 a 4[- nível Potencialmente Sustentável e [5 a Inf[nível Sustentável. Tal parametrização deve ser feita sempre no domínio da variável, devendo-se ter o cuidado com variáveis com evolução decrescente, como, por exemplo, a variável Número de mortes por 1000 habitantes, que será mais sustentável quanto menor o número de mortes ou mais inferior na escala.

Processa o BS: nessa atividade, o sistema irá calcular o BS conforme a equação 1. A ação recebe como entrada o *dataframe* contendo os dados de cada variável para cada município e a EDM.

Gera os gráficos: o gráfico do BS é tradicional e está presente desde as primeiras publicações, tendo destaque no livro *Wellbeing of Nations*. Trata-se de um gráfico de pontos bidimensional com um eixo de Bem-estar Humano e outro eixo de Bem-estar Ecosistêmico. Cada eixo agrega suas respectivas dimensões e posiciona o município na escala, ao mesmo tempo em que o classifica dentro de um nível de sustentabilidade.

Gera os mapas: essa ação é responsável pela geração dos mapas temáticos, baseados em mesorregiões, em que os municípios são classificados e apresentados. As cores devem variar do vermelho ao verde, de modo a alterar considerando o parâmetro menos sustentável ao mais sustentável, respectivamente.

O *software* também armazena os dados quantitativos como saída dos processamentos realizados, permitindo que sejam exportados ou incorporados a outros fluxos de dados.

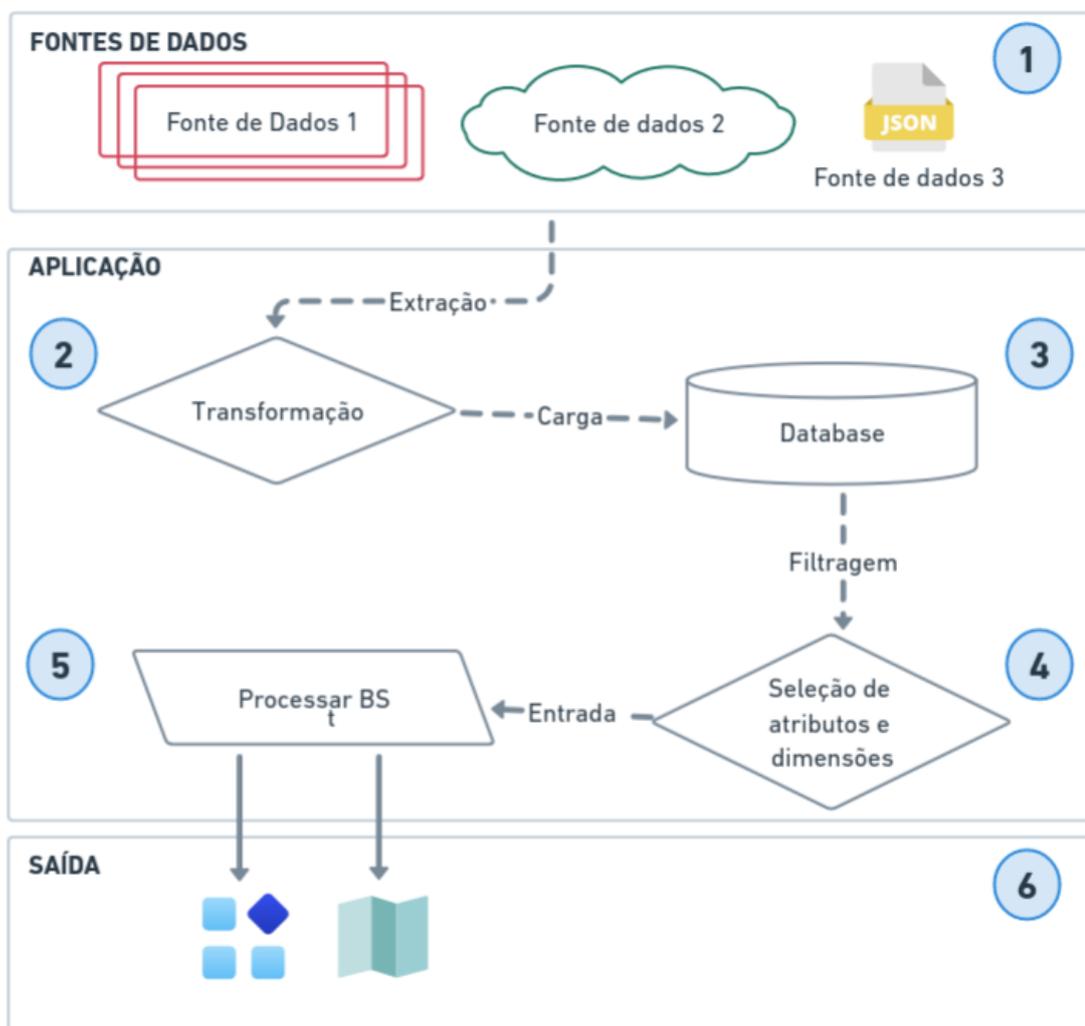
Como o BS é um indicador flexível, as variáveis podem ser organizadas e estruturadas em vários níveis, de modo a viabilizar uma análise multidimensional do fenômeno, seja por dimensão, tema, território ou de maneira combinada. As variáveis inicialmente selecionadas para aplicação no estudo de caso foram baseadas nos materiais de revisão da literatura e estão dispostas na Tabela 7, no entanto, a base de dados não se limita a essas variáveis, já que, durante o processo de ETL, foram carregadas tantas variáveis quantas estivessem disponíveis na fonte de

dados.

4.2 Metodologia da aplicação

O padrão arquitetural adotado é o *Pipe and Filters*, em função da característica natural de seus componentes de transferência e transformação de fluxos de dados durante o processamento, conforme demonstrado para Figura 15. O sistema é implementado em linguagem GNU R de maneira funcional, além disso, vários recursos da linguagem foram utilizados para reduzir a complexidade e facilitar a portabilidade, tais como os pacotes tradicionais *tidyverse*, para as operações de transformação de dados, e *ggplot2*, para gráficos e mapas.

Figura 15 – Metodologia de implementação do Barômetro da Sustentabilidade



Fonte: Elaborado pelo autor.

As principais etapas do trabalho foram marcadas numericamente na Figura 15 para facilitar o entendimento. O desenvolvimento foi realizado de maneira incremental e iterativa,

mantendo características de desenvolvimento ágil, o que permitiu simular vários cenários e testar diversas combinações de variáveis e métodos de pré-processamento.

Na etapa 1, são ilustradas fontes de dados externas à aplicação. As principais bases de dados extraídas para utilização no trabalho foram obtidas do Atlas do Desenvolvimento Humano - PNUD³, basedosdados.org⁴, IBGE⁵ e DATASUS⁶.

O processo de extração é, em grande medida, facilitado pelo *software* R, em razão de pacotes existentes que podem ser utilizados para coleta dos dados. Vale destacar o uso do pacote *basedosdados*, que dá acesso a um *Data Lake* de bases de dados públicas acessíveis em R, Python ou mesmo em *Structured Query Language (SQL)* pelo *BigQuery* da Google. Além disso, o projeto *microdatasus* provê acesso às diversas variáveis fornecidas pelo DATASUS. Outras variáveis foram baixadas em formato tabular, sendo carregadas no ambiente de desenvolvimento R.

Na etapa 2, são realizados processos de transformação e verificação dos dados baixados. A etapa se justifica em razão de as fontes de dados, como o Atlas do Desenvolvimento Humano e o INPE, não fornecerem ferramentas de seleção de variáveis, obrigando os usuários a realizarem o download de um arquivo com várias outras variáveis, tornando-se muito maior do que o necessário. O Software R cria um ambiente em que as variáveis manipuladas são armazenadas, não sendo conveniente, desse modo, armazenar todas as variáveis disponibilizadas. Neste momento, o pesquisador tem de definir quais variáveis serão descartadas e quais passarão para o banco de dados intermediário, composto pelas variáveis que ficaram carregadas no ambiente de trabalho. A operação de ETL aqui empregada é a de *subset*, ou seja, o conjunto de dados de entrada tem sua dimensionalidade reduzida pela seleção explícita de atributos.

No contexto de operações de ETL, a etapa 3 realiza uma operação de carga (*Load*), que pode ser realizada para uma instância intermediária que consolida o conjunto de variáveis de interesse. Tradicionalmente, a carga é feita para bancos de dados transacionais, como Sistema de Gerenciamento de Bancos de Dados (SGBD)s. No caso específico de análise, o ambiente armazena as variáveis em uma base de dados em arquivo *.RData* para ser acessado em outras execuções, ou mesmo por outros arquivos.

Na etapa 4, ocorre um conjunto de operações de transformação de dados para redução de inconsistência. Entre as quais, pode-se citar: a exclusão de variáveis com uma quantidade excessiva de dados ausentes, o que inviabilizaria a geração do indicador do BS; a aplicação da Área Mínima de Comparação; o arranjo de variáveis em temas, dimensões e eixos conforme necessidade de síntese; o pivotamento de dados e a extração de estatísticas descritivas. A extração de estatísticas descritivas é importante para que possa subsidiar o pesquisador na geração da

³ <http://www.atlasbrasil.org.br/>

⁴ <https://basedosdados.org/>

⁵ <https://ftp.ibge.gov.br/>

⁶ <ftp.datasus.gov.br>

Escala de Desempenho Municipal, que contém os limites de cada nível de sustentabilidade: Insustentável, Potencialmente Insustentável, Intermediário, Potencialmente Sustentável e Sustentável. Os intervalos devem ser determinados para cada variável incluída.

Na etapa 5, o Barômetro da Sustentabilidade é computado para cada variável utilizando a **EDM**, passada como argumento, juntamente com o conjunto de dados devidamente tratado como uma matriz de municípios (linhas) e variáveis (colunas). A função *computeBS* é responsável por aplicar a fórmula da equação 2.1, convertendo os valores e gerando uma nova matriz com os valores normalizados para a escala do **BS**.

Deve-se recordar que o Barômetro da Sustentabilidade é um indicador de síntese, portanto, ao gera-lo, o pesquisador está interessado em ter uma visão geral da situação da sustentabilidade para vários estratos territoriais. Desse modo, é importante possuir rotinas de agregação dos dados processados, tanto a nível geográfico (municípios, microrregiões, mesorregiões e Estado) como também a nível de estudo fatorial (variáveis, temas, dimensões e eixos de bem-estar). Outra rotina de tratamento de dados necessária é a discretização dos valores da escala do **BS** para os valores qualitativos, ou seja, determinando em qual dos 5 (cinco) níveis de sustentabilidade o resultado pode ser classificado.

Com os dados sintetizados pelo Barômetro da Sustentabilidade, são gerados gráficos, tabelas e mapas para viabilizar as análises do cenário em sustentabilidade. Na etapa 6, os resultados são gerados graficamente, com a ajuda da biblioteca *ggplot2*. O tradicional gráfico do Barômetro da Sustentabilidade, composto por um *scatter plot* bidimensional contendo as demarcações dos 5 níveis de sustentabilidade representados por regiões dos eixos de bem-estar humano e bem-estar ecossistêmico, também foi implementado em linguagem R pela função de nome *geomBarometer*, que implementa a gramática de gráficos sugerida pelo pacote *ggplot2*. Para além de localizar precisamente os municípios em função dos principais eixos de análise da sustentabilidade holística, a análise gráfica permite a observação da distribuição das unidades de análise de modo a perceber também desigualdades e assimetrias regionais.

O *software* permite o desenvolvimento de observações mais profundas, utilizando dos mesmos recursos gráficos e analíticos. As funções de geração de gráficos, tabelas e mapas podem ser facilmente aplicadas para outros cenários, estratos territoriais e agregações de variáveis. A seguir, serão apresentadas e discutidas algumas dessas variações analíticas efetuadas com o auxílio da ferramenta, levando em consideração os municípios de cada região distribuídos graficamente.

Considerando os mapas temáticos com a classificação da sustentabilidade a nível municipal, optou-se pela plotagem de mapas regionais no nível de mesorregião, tendo em vista que os mapas gerados a nível estadual com limites municipais não ficaram suficientemente legíveis, dada a grande quantidade de municípios. Cabe ainda destacar que a organização por mesorregião do **IBGE** leva muito mais em consideração a região de influência de cada município (urbanização, redes de comércio e fornecimento etc.) do que as similaridades ambientais.

5 Estudo de caso

Através da aplicação da ferramenta de *software* proposta será possível mensurar a adequação e a pertinência do trabalho em um caso real de análise de sustentabilidade regional e municipal do Estado do Pará, bem como, investigar possíveis vulnerabilidades, ameaças, oportunidades e potencialidades dos recursos propostos.

5.1 Caracterização do Território

Com o objetivo de compreender melhor o cenário de estudo, destaca-se alguns atributos do Estado do Pará, suas características regionais, diferentes aspectos históricos e culturais que imprimiram ao seu processo de desenvolvimento as motivações para o conjunto de escolhas políticas, econômicas e sociais que ajudaram a determinar aonde está e para onde vai, considerando o arranjo nacional.

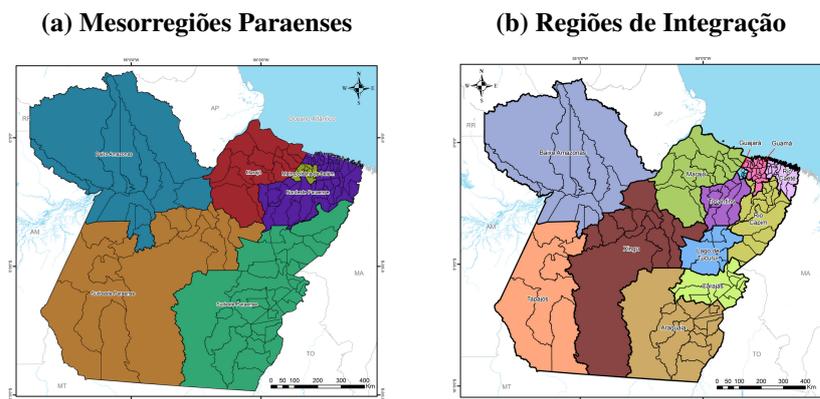
5.1.1 Território

O Pará é o segundo maior estado da federação com extensão territorial de 1.245.870 km² (IBGE, 2021), dividido em 144 municípios e acumulando mais de 16% do território nacional. Localizado na região norte do Brasil, faz fronteira com os estados brasileiros: Maranhão, Tocantins, Amazonas, Amapá e Mato Grosso; e com os estados estrangeiros: Suriname e Guiana ao extremo norte. O estado também responde por 26% do território da Amazônia.

De acordo com o IBGE, o estado do Pará é dividido em seis mesorregiões que agregam municípios com características geográficas e socio-econômicas semelhantes: Baixo Amazonas, Marajó, Metropolitana de Belém, Nordeste Paraense, Sudeste Paraense e Sudoeste Paraense. Uma outra divisão proposta pelo governo do estado Pará, com a finalidade de facilitar a administração, são as Regiões de Integração (RI) dividindo o estado em 12 regiões denominadas: Araguaia, Carajás, Guamá, Marajó, Rio Capim, Tocantins, Baixo Amazonas, Guajará, Lado do Tucuruí, Rio Caeté, Tapajós e Xingu. As duas divisões territoriais são representadas graficamente na Figura 16. Neste trabalho, foi adotada a divisão territorial em Mesorregiões¹, usada pelo IBGE, para as análises agregadas dos territórios.

Sua última divisão territorial se deu em 2012, com a criação do Município de Mojuí dos Campos, à partir do desmembramento do município de Santarém, passando a compor uma nova região metropolitana com os municípios Santarém e Belterra, localizados na mesorregião

¹ Por simplificação, optou-se por utilizar com mais frequência o termo região ao invés de mesorregião, portanto em alguns casos eles são intercambiáveis no texto.

Figura 16 – Divisões territoriais do Pará

Fonte: Anuários publicados pela [FAPESPA](#).

do Baixo-Amazonas. Atualmente, ainda existem 51 pedidos de emancipação de territórios que pretendem se tornar municípios no estado ([PPGDAM, 2015](#)).

O Estado do Pará também apresenta uma topografia predominantemente plana com praticamente 60% do território abaixo de 200 metros de altitude. As localidades com altitudes acima de 500 metros de altitude são: Serra dos Carajás (Mesorregião Sudeste), Serra do Cachimbo (Mesorregião Sudoeste) e a Serra do Acari (Mesorregião Norte), com o ponto mais alto do Pará com uma elevação superior a 1000 metros de altitude em uma região que faz divisa com a Guiana.

5.1.2 População e ocupação

A população paraense estimada em 2021 foi de 8.777.124 pessoas ([IBGE, 2021](#)), um incremento de 1.196.073 pessoas desde o Censo de 2010. Totaliza 4,11% da população nacional e figura como o 7º estado da federação com menor densidade demográfica com 6,07 hab/km². A distribuição entre os sexos encontra-se equilibrada entre homens e mulheres, com 4.396.853 (50,09%) e 4.380.271 (49,90%), respectivamente.

Sobre a situação domiciliar no estado, dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios ([PNAD](#)) de 2015, indicam que 2.584.876 pessoas viviam em área rural, enquanto 5.608.094 de pessoas vivem na área urbana, ou seja, mais de 31% da população daquele ano vivia em área rural.

Já em relação a distribuição por raça ou cor, estimativas da [PNAD](#) indicavam que em 2015, 14.269 pessoas se declaravam amarela (0,17%), 1.558.645 pessoas se identificavam como brancos (19,02%), 87.548 pessoas se declaravam como indígenas (1,07%), 5.915.825 se identificavam como pardas (72,21%) e 616.683 declaravam-se pretas (7,53%). Tal distribuição vem sofrendo profundas mudanças nos últimos anos com um incremento de 3,1% de pessoas se autodeclarando pretos e pardos, portanto acredita-se que esse efeito tenha contribuição das recentes políticas de inclusão social e de equidade etno-raciais que foram aprimorando e popularizando instrumentos de heteroidentificação, conscientização e valorização étnicas e

culturais, tal como já observado em contexto nacional (NACIONAL, 2022).

A ocupação do território paraense se deu em função da exploração comercial extrativista, sem um projeto econômico de desenvolvimento, mas um projeto político-militar de dominância e exploração das riquezas naturais e da força de trabalho local, predominantemente indígena. A Província do Maranhão e Grão Pará criada um século após a ocupação do território representou o reconhecimento de uma zona administrativa e política, que posteriormente permitiria a criação de Companhias de Comércio viabilizando a produção e comercialização de produtos de lavouras, sobretudo de café, arroz, tabaco, cana-de-açúcar, cacau, algodão e da pecuária com as primeiras fazendas de gado. Atividades que já eram sustentadas pela mão de obra oriunda do tráfico de africanos.

Os primeiros levantamentos científicos realizados na região amazônica iniciaram no período Pombalino (1750 a 1777). Período conhecido pelo despotismo esclarecido, em que os monarcas estavam influenciados pelos ideais iluministas na Europa. Na colônia, essa influência se deu pela documentação da fauna, flora, hidrografia e populações da região. Foi um período de grandes avanços do ponto de vista urbanístico e econômico, objetivando dar maior celeridade e eficiência na extração de riquezas da colônia. Tais atividades científicas foram cruciais para que a região amazônica pudesse aproveitar a era da exploração do látex e da revolução industrial. Infelizmente, o período não foi aproveitado para criação de uma indústria local, pelo contrário o investimento foi realizado em bens de consumo para a elite da borracha, que após os primeiros sinais de declínio no comércio do látex brasileiro migraram seu capital para a Europa.

O estado atual do desenvolvimento no Pará ainda é caracterizado pelos processos históricos de ocupação e exploração do seu território. Verificado pelos processos de acumulação de terras e consequente especulação fundiária, conflitos agrários e má aproveitamento das terras. Cordeiro, Arbage e Schwartz (2017) defende que o processo de ocupação se deu por dois ciclos: o primeiro, levado à cabo pelos colonizadores, que utilizaram os rios para se interiorizarem e dominarem; enquanto que o segundo, já no século XX, se deu pela construção das grandes rodovias durante o regime militar, movimento que se intensificou com a construção das ferrovias, que consolidaram atividades agrícolas, enquanto as atividades mais extrativistas relacionadas à exploração da borracha vivenciava retração econômica. Outros movimentos migratórios ocorreram no período de exploração mineral, que desencadeou profundos problemas sociais e ambientais no estado do Pará.

5.1.3 Economia

O Produto Interno Bruto é um dos principais indicadores econômicos capazes de indicar as atividades que mais contribuem na economia do Estado e sua participação correspondente na economia Brasileira por ter uma metodologia mundialmente aceita e comparável. Em 2019, o PIB do Estado do Pará foi de R\$ 178.376.984.000, o que corresponde a 2,41% do PIB brasileiro. As atividades econômicas que mais contribuem com o PIB nacional advém da participação

do Valor Adicionado Bruto (VAB) da agropecuária (R\$ 14.944.394.000) seguido pelo VAB da indústria (R\$ 55.476.708.000), com respectivamente 4,81% e 4% de participação, no entanto, para a composição do VAB total do Estado, o principal VAB é do setor de serviços com R\$ 57.019.743 seguido pelo setor de indústria.

Dados da Pesquisa Anual de Serviços (PAS), de 2019, indicam que as atividades do setor de serviços com maior receita bruta são relacionadas aos setores/segmentos da Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE) 2.0: i) "Transporte, serviços auxiliares de transporte e correio" que inclui transportes rodoviários ou não, atividades de armazenamento de carga e outras atividades relacionadas à correios e serviços de entregas; ii) "Serviços profissionais administrativos e complementares"; e iii) "Serviços de informação e comunicação". No entanto, os segmentos que possuem o maior número de empresas são: i) "Serviços profissionais administrativos e complementares" com 2.785 unidades; ii) "Serviços prestados às famílias" que inclui atividades culturais e recreativas, além de alojamento, alimentação e de ensino continuado com 2.021 estabelecimentos; e iii) "Transporte, serviços auxiliares de transporte e correio" com 1.002 unidades. Em relação aos segmentos que mais empregam temos: i) "Serviços profissionais administrativos e complementares" 64.236 pessoas ocupadas; ii) "Transporte, serviços auxiliares de transporte e correio" com 33.150 pessoas ocupadas; e iii) "Serviços prestados às famílias" com 27.100 pessoas ocupadas.

As principais atividades econômicas do setor industrial são ligadas à exploração mineral que intensificaram-se na década de 70, sobretudo na Região Sudeste Paraense, com a extração de ferro e ouro. Com uma Política Pública de incentivo fiscais, grandes projetos de extração de minérios foram verticalizados na década de 90 tornando o Estado do Pará o maior exportador de matéria-prima pela exploração de minérios de ferro, cobre, bauxita e manganês. Tais produtos correspondem a 93% da produção mineral do Estado do Pará (LEAL et al., 2012). A sustentabilidade do setor industrial extrativista do Estado do Pará é altamente vulnerável às condições naturais e sociais, portanto é fundamental que o Estado direcione Políticas Públicas capazes de agregar valor permanente às regiões, bem como exija compensações de ordem social e ambiental das empresas que exploram tais atividades.

Do ponto de vista social há que se considerar que mais de 65% os municípios paraenses encontram-se com IDHM baixo ou muito baixo e mais de 33% apresentam o indicador em níveis baixo ou muito baixo. Apesar do PIB pujante apresentado por alguns municípios, a realidade mostra que o desempenho econômico no Estado não reflete na qualidade de vida das pessoas. Os dados do Atlas do Desenvolvimento Humano ainda mostra que 102 municípios apresentam Índice de Gini² entre [0,5 - 0,6) indicando um nível de desigualdade médio e 32 municípios

² Medida de desigualdade relativa obtida a partir da Curva de Lorenz, que relaciona o percentual acumulado da população em ordem crescente de rendimentos (eixo x) e o percentual acumulado de rendimentos (eixo y). Quando os percentuais acumulados de população correspondem aos percentuais acumulados de rendimentos (10% da população com 10% dos rendimentos, por exemplo), tem-se a linha de perfeita igualdade. A Curva de Lorenz representa a distribuição real de rendimentos de uma dada população, tendo, em geral, formato convexo. Quanto mais afastada da linha de perfeita igualdade, mais desigual a distribuição. O índice de Gini é uma medida

apresentam alto nível de desigualdade no que diz respeito a distribuição de renda.

5.1.4 Vegetação e Solo

O solo é essencial para manutenção da sustentabilidade e qualidade ambiental em diferentes escalas. Como a principal matéria prima para a produção de alimentos, sua importância extrapola fronteiras territoriais do estado e do país, sendo um fator crítico para a segurança da cadeia produtiva de alimentos no mundo. Além disso, o solo amazônico sustenta a maior floresta tropical do mundo, sua fauna e flora biodiversa também dependem dele numa interação sensível e equilibrada, dentro de um ciclo quase fechado e contínuo, onde a maior parte dos nutrientes advém da própria biomassa florestal (GAMA et al., 2007).

Os estudos para a avaliação, caracterização e classificação dos solos proporcionam importantes parâmetros para planejamento agrário e urbano, no sentido de garantir propriedades físicas, químicas e comportamentais para uso seguro e eficiente. O Estado possui solos com características heterogêneas, apesar de estar localizado completamente no Bioma Amazônico, isso se deve à diferentes contextos geológicos, tais como processos geogênicos de clima, tempo, transporte e sedimentação de rochas (GONÇALVES et al., 2018). Segundo Gama et al. (2007) o Estado possui ampla dominância dos Latossolos e Argissolos correspondendo a 80,55% da área total

A vegetação também é diversificada e comporta florestas, várzeas, cerrados e campos. A Floresta Equatorial Perenifólia

Outra característica importante são as condições de geomorfológicas encontradas nos territórios do Estado, sobretudo as unidades de relevo, que podem ser altos planaltos, planaltos rebaixados, depressões e planícies fluviais.

5.1.5 Fontes de Dados do Estado do Pará

Para condução de um estudo de caso para o Estado do Pará e seus 144 municípios foram utilizados dados públicos obtidos do Atlas de Desenvolvimento Humano - PNUD, que reúne diversas bases de dados de diferentes origens. Os dados do Atlas estão disponíveis para todo o Brasil com granularidade territorial a nível estadual e municipal e reúne variáveis censitárias (obtidas do IBGE), como também variáveis obtidas de bases de dados administrativas (Órgãos de Segurança Pública, de Educação, de Assistência Social e Saúde etc).

As variáveis selecionadas no Barômetro da Sustentabilidade são sempre escolhidas pelo pesquisador. Durante o trabalho de revisão da literatura foi observado um padrão na seleção de variáveis, sendo as mais comuns as variáveis detalhadas na Tabela 9.

numérica que representa o afastamento de uma dada distribuição de renda (Curva de Lorenz) da linha de perfeita igualdade, variando de “0” (situação onde não há desigualdade) e “1” (desigualdade máxima, ou seja, toda a renda apropriada por um único indivíduo).(IBGE, 2022)

Também em relação às dimensões, as mais comuns na literatura são: Ambiental, Social e Econômica (ELKINGTON, 1998; SACHS, 2000). No entanto, trabalhos mais recentes incluem a dimensão Institucional (CARDOSO; TOLEDO; VIEIRA, 2014; CARDOSO; TOLEDO; VIEIRA, 2016) como forma de mensurar o esforço estatal, seja por ações de regulação, fiscalização ou promoção de Políticas Públicas. Neste trabalho, a dimensão Institucional não foi incluída pelo fato de uma boa análise das características institucionais demandarem dados que, no momento, não estão disponíveis para todos os municípios paraenses.

A análise do Bem-Estar Ecológico (EWI) levou em conta a dimensão Ambiental, enquanto que a análise do Bem-Estar Humano (HWI) incluiu as dimensões Social e Econômica.

No Brasil, pesquisas censitárias são realizadas pelo IBGE a cada dez anos, sendo as principais fontes de dados para indicadores sociais, tendo em vista a preocupação com domicílios, famílias, renda e pessoas. Pesquisas administrativas, tais como as publicadas pelo INEP são anuais, enquanto que os dados de saúde disponibilizados pelo Sistema Único de Saúde (SUS) costumam ser mensais. Há ainda outros dados oriundos de sistemas de monitoramento, como o Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite (PRODES) e o BDQueimadas, que possuem atualização diária. O processo de compatibilização de variáveis é uma tarefa realizada na etapa de ETL. Com o intuito de obter métricas consistentes, são feitas operações de agregação com o objetivo de sintetizar dados de frequência diária ou mensal para a frequência anual.

Tabela 9 – Definição de variáveis incluídas

Dimensão	Variável	Definição	Unidade	Fonte
Ambiental	AGUA_ESGOTO	Pessoas em domicílios com abastecimento de água e esgotamento sanitário inadequados	%	IBGE (2010)
Ambiental	PFLORA	Cobertura vegetal natural	gera os m %	INPE (2020)
Ambiental	PFOCOS	Concentração dos focos de calor	%	INPE (2020)
Ambiental	PINTERDRSAI	Percentual de internações por doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado	%	DATASUS (2017)
Ambiental	T_BANAGUA	Percentual da população que vive em domicílios com banheiro e água encanada	%	IBGE (2010)
Ambiental	T_LIXO	Percentual da população que vive em domicílios com serviço de coleta de lixo	%	IBGE (2010)
Econômica	CPR	Pessoal ocupado de 18 anos ou mais que trabalham por conta própria	Valor (R\$ mil)	IBGE (2010)
Econômica	GINI	Índice de Gini	0 a 1	IBGE (2010)
Econômica	P_FORMAL	Grau de formalização do trabalho de pessoas ocupadas	%	IBGE (2010)
Econômica	P_SIUP	Pessoal ocupado em setores industriais e de utilidade pública	%	IBGE (2010)
Econômica	P_TRANSF	Pessoal ocupado em setores da indústria da transformação	%	IBGE (2010)
Econômica	RAZDEP	Razão de dependência é o percentual da população com menos de 15 anos e mais de 65 dividido pela população em idade economicamente ativa	%	IBGE (2010)
Econômica	RENOCUP	Rendimento médio dos ocupados	Valor (R\$ mil)	IBGE (2010)
Econômica	REN_PIBPC_D	Produto interno Bruto Per Capita	Valor (R\$ mil)	IBGE (2010)
Econômica	T_ATIV	Taxa de atividade das pessoas de 10 anos ou mais de idade	%	IBGE (2010)
Econômica	THEIL	Índice de Theil-L	0 a 1	IBGE (2010)
Econômica	THEILtrab	Índice de Theil dos rendimentos do trabalho	0 a 1	IBGE (2010)
Social	MORT5	Mortalidade até os 5 anos de idade	%	IBGE (2010)
Social	POP_URB	Percentual da população vivendo em área urbana	%	IBGE (2010)
Social	T_AGUA	Percentual da população vivendo domicílios com água encanada	%	INEP (2017)
Social	T_ANALF15M	Taxa de analfabetismo da população de 15 anos ou mais de idade	%	INEP (2017)
Social	T_ENV	Taxa de envelhecimento	%	IBGE (2010)

Fonte: Elaborado pelo autor.

6 Resultados e Discussões

Através da condução do Estudo de Caso, detalhado no Capítulo 5, em que foram aplicadas as ferramentas de *software* propostas nesse trabalho, pode-se avaliar integralmente os benefícios, potencialidades e oportunidades de desenvolvimento e aplicação de recursos computacionais que visem a promoção do bem-estar humano e ecossistêmico, especialmente de *software* para a análise de sustentabilidade e políticas públicas.

6.1 Análise de Sustentabilidade Regional

Durante a aplicação do *software* nos dados capturados a partir do estudo de caso, o Estado do Pará obteve nível Intermediário de Sustentabilidade com valor de **BS** médio de $\langle 45,4 \rangle$ ¹, conferido pelas dimensões Ambiental, Econômica e Social com valores médios de **BS** de $\langle 47,6 \rangle$, $\langle 43,3 \rangle$ e $\langle 45,4 \rangle$, respectivamente.

Os resultados indicam que nenhum município paraense se encontra em condição crítica de Insustentabilidade ($0 < BS \leq 20$)², mesmo assim percebe-se que 28,7% estão em situação Potencialmente Insustentável ($20 < BS \leq 40$), 65,7% em situação Intermediária ($40 < BS \leq 60$) e, apenas 5,6% estão em situação Potencialmente Sustentável ($60 < BS \leq 80$). Também, os resultados ilustram que não existe nenhum município em condição Sustentável ($80 < BS \leq 100$), o que gera o desafio de se planejar e aplicar políticas públicas eficazes com vistas a melhorar os índices obtidos nas três dimensões.

Deste modo, os dados gerais obtidos pelo *software* refletem a necessidade de investimentos em desenvolvimento regional, o que pode ser acelerado a partir de novas discussões e captação de recursos para região, como por exemplo, via fóruns e parcerias, COP-30³ (IPAM, 2023) e Fundo Amazônia (COFA, 2023). Tais recursos podem fortalecer as ações e projetos associados à bioeconomia, cooperativas, e ecoturismo, gerando as bases para o desenvolvimento regional sustentável (EMBRAPA, 2023; BENI, 2003).

A Figura 17 ilustra a classificação dos municípios nas três dimensões analisadas.

¹ Os valores absolutos obtidos no **BS** serão apresentados entre os sinais \langle e \rangle . Quando não se tratar de números inteiros, serão grafados com precisão de 01 decimal.

² Intervalos da **EBS** definidos na Tabela 3

³ Foi anunciado em maio de 2023, durante a elaboração desta dissertação, que a 30ª Conferência da ONU sobre Mudanças Climáticas (COP-30), programada para novembro de 2025, será sediada em Belém (PA).

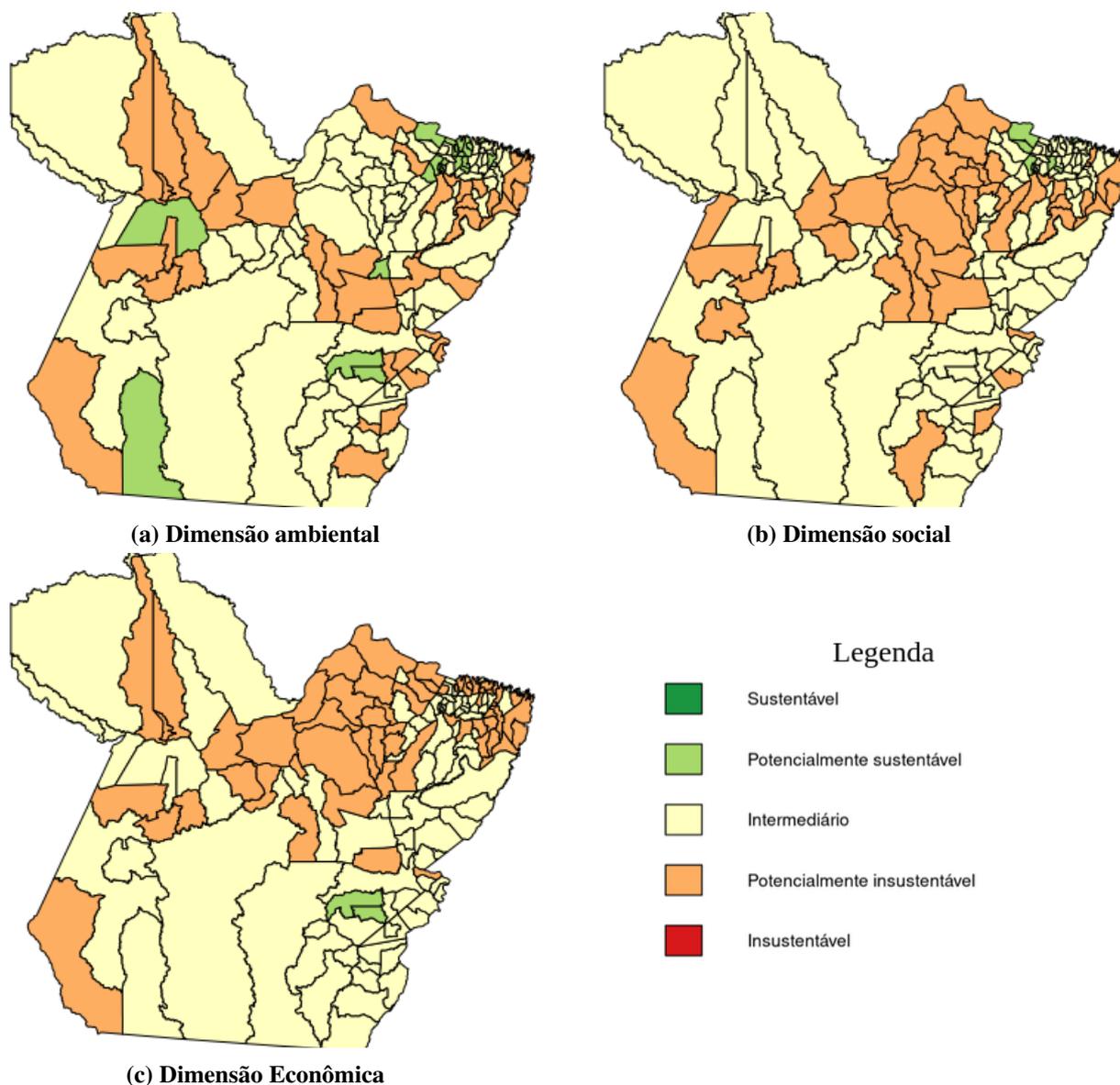


Figura 17 – Mapa temático com a classificação dos municípios do estado do Pará em diferentes dimensões.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 17a ilustra os municípios em função da dimensão Ambiental, que por sua vez possui 39 municípios (27,3%) em situação Potencialmente Insustentável, 82 municípios (57,3%) em situação Intermediária e 22 (15,4%) em situação Potencialmente Sustentável. Já a Figura 17b ilustra a distribuição dos municípios em nível de sustentabilidade para a dimensão Social, em que figuram 42 municípios (29,4%) na situação Potencialmente Insustentável, 94 municípios (65,7%) na situação Intermediária, e 7 municípios (4,9%) na situação de Potencialmente Sustentável. Por fim, a Figura 17c ilustra a dimensão Econômica a qual se destaca como a mais insustentável, acumulando 57 municípios (37,5%) na situação Potencialmente Insustentável, 84 municípios (58,3%) em situação Intermediária e, apenas 02 municípios (1,38%) na situação Potencialmente Sustentável.

Além do elevado número de municípios presentes no nível Potencialmente Insustentável, é possível observar que nenhum município foi classificado como Potencialmente Sustentável em qualquer dimensão ou Sustentável ao mesmo tempo para as três dimensões, o que dá a dimensão do tamanho do desafio a ser enfrentado em todos os 144 municípios do Estado, onde em pelo menos uma dimensão demanda ações de melhoria dos índices. Outro fator importante, é que embora a investigação esteja acontecendo em região localizada na Amazônia Brasileira, 27,3% dos municípios se encontram na faixa de Potencialmente Insustentável na dimensão Ambiental, sendo válido reforçar que existe um alerta da necessidade de mais políticas para preservação do meio ambiente, e desenvolvimento socio/econômico sustentável, isto é, enfrentando os desafios a partir da aplicação da bioeconomia⁴, ecoeficiência⁵ e gestão territorial⁶ (SACHS, 2000). Com isso, buscando solucionar os desafios ambientais associados a diversos temas, como: água, lixo, esgoto, preservação da floresta, entre outros.

A Tabela 10 sintetiza o quantitativo de municípios por nível de sustentabilidade, tanto pelo BS, quanto pelas suas componentes dimensionais isoladamente. Nela verificamos que 22 municípios paraenses (15%) apresentam desempenho Potencialmente Sustentável na dimensão Ambiental, no entanto, apenas 08 municípios obtêm a mesma classificação se analisado o indicador holístico. Assim como chama atenção ao número de 57 municípios (39%) apresentarem desempenho insatisfatório (Potencialmente Insustentável) na dimensão econômica, a análise do Barômetro da Sustentabilidade automatizada pode revelar novas questões a serem debatidas e pesquisadas para entender quais são as variáveis que estão por trás desses resultados e como os municípios são penalizados por esses fatores insustentáveis.

Tabela 10 – Número de municípios por nível de sustentabilidade e dimensão

Nível de sustentabilidade	Dimensão			Indicador sintético/holístico ⁷
	Ambiental	Econômica	Social	
Insustentável	0	0	0	0
Potencialmente Insustentável	39	57	42	41
Intermediário	82	84	94	94
Potencialmente Sustentável	22	2	7	8
Sustentável	0	0	0	0

Fonte: Elaborado pelo autor.

Nota: Número de municípios baseado na malha territorial de 2010.

A partir dos resultados é possível observar que a maioria dos municípios paraenses ainda possuem baixos índices de sustentabilidade ambiental, econômico e social. Tais índices represen-

⁴ Bioeconomia ou Economia Ecológica é tratada por I. Sachs à partir do Paradigma do Biocubo, ou seja, uma economia alicerçada na Biodiversidade, Biomassa e Biotecnologia para um genuíno progresso sustentável.

⁵ Potencial para a implementação de atividades direcionadas para a máxima produtividade dos recursos (reciclagem; aproveitamento do lixo; conservação de energia e da água etc.)

⁶ A gestão territorial é a alternativa para a criação de zonas de assentamentos humanos e áreas de preservação ambiental. Uma boa gestão territorial seria capaz de prover acesso justo à terra, induzir o desenvolvimento econômico e resguardar a biodiversidade

⁷ Conforme explicado no Capítulo 2 o indicador sintético ou holístico é obtido conforme aumenta-se o nível de agregação até que resulte em uma métrica única que não comporta mais agregações - a esta métrica damos o nome de indicador holístico, por representar a agregação de todas as dimensões do fenômeno.

tam a carência na execução de projetos de desenvolvimento sustentáveis e bio-econômicos, que por sua vez, são pautas discutidas pelo atual governo brasileiro e estadual (SAAVEDRA, 2023; ADACHI, 2023).

A Tabela 11 apresenta os índices do BS na perspectiva regional, onde a mesorregião Metropolitana de Belém obteve melhor desempenho no indicador, com BS de <56,1>. Seguido pelo Sudeste Paraense <47,3>, Nordeste Paraense <44,4>, Sudoeste Paraense <42,5>, Baixo Amazonas <42,3>, sendo a mesorregião do Marajó a responsável pelo pior desempenho no nível médio das três dimensões, com indicador de <40,4>. Vale destacar que, a mesorregião do Marajó obteve classificação Potencialmente Insustentável em 08 dos 16 municípios que a integram, resultado que corrobora com os dados obtidos por Jr e Carbogin (2012), Quintela, Toledo e Vieira (2018), que destacam os desafios enfrentados pela região. Enquanto que na mesorregião Metropolitana de Belém, apenas o município de Bujaru foi classificado como Potencialmente Insustentável com BS de <31,5>, <34,9> e <39,2>, nas dimensões ambiental, econômica e social, respectivamente.

Tabela 11 – Classificação das mesorregiões com número de municípios e indicador BS (quantitativo e qualitativo)

Região	Nº de municípios	Indicador do BS	Nível BS
Baixo Amazonas	14	42.3	Intermediário
Marajó	16	40.4	Intermediário
Metropolitana de Belém	11	56.1	Intermediário
Nordeste Paraense	49	44.4	Intermediário
Sudeste Paraense	39	47.3	Intermediário
Sudoeste Paraense	14	42.5	Intermediário

Fonte: Elaborado pelo autor.

No que diz respeito a dimensão ambiental, os resultados do BS indicam que o Pará precisa aumentar a atenção em relação à preservação do meio ambiente, deste modo, justificando a necessidade de mais investimentos na preservação da floresta, criação de novas áreas protegidas e de políticas públicas mais sustentáveis. Além disso, atrair investimentos para empreendimentos socialmente e ambientalmente responsáveis que valorizem a riqueza natural e humana das populações locais. Nas últimas décadas, o Estado do Pará se destacou como um dos estados que mais desmata a floresta Amazônica, aumentando em 2022 a área desmatada em aproximadamente 2,05 milhões de hectares (22,3% a mais que o ano anterior) (BRASIL, 2023).

Uma das principais causas para o agravamento da situação climática é o desmatamento decorrente das mudanças de uso da terra, que na Amazônia Legal se dá principalmente pelo desmatamento de florestas primárias com uso de fogo, responsável por 40% das emissões de gases do efeito estufa (DADOS, 2022), ou seja, por trás da destruição da floresta há uma motivação econômica que beneficia poucos indivíduos. Decorre ainda do processo de devastação do meio ambiente uma série de infortúnios sociais que afetam, sobretudo, as pessoas economicamente desfavorecidas, tais como, problemas respiratórios decorrente das queimadas (CHAVES, 2021), contaminação de rios, solo e pescados (BARTABURU, 2020), possibilidade de novos surtos de

doenças infecciosas (LIMA, 2023), entre outros problemas que recaem principalmente sobre a coletividade que não são beneficiadas com a exploração predatória do meio ambiente.

Sobre as dimensões econômica e social, essas caminham na direção da geração do lucro e acúmulo de riquezas, o que aflora a necessidade de se pensar em novas estratégias/políticas públicas de redução da desigualdade social e concentração de renda, sobretudo entre a cidade e o campo. Deste modo, para preservar e garantir a qualidade de vida da população desses municípios em níveis Potencialmente Insustentáveis e Intermediários, a ação do poder público deve ser no sentido de se antecipar aos problemas que surgirão com o processo de acelerada urbanização. Ferreira (2000), Pereira et al. (2017) apontam que o processo de urbanização e desenvolvimento puramente econômico das cidades é naturalmente acompanhado pela piora/degradação de índices sociais — e até econômicos, com forte impacto na desigualdade social.

Neste sentido, a ONU estimou que a taxa de urbanização seria mais acelerada nos países pobres do que em países industrializados, média de 5% e 0,7%, respectivamente (FERREIRA, 2000). Como consequência, a população urbana cresceria 52% nos países menos industrializados, e, aproximadamente 50% da população urbana passaria a viver em sub-habitações. Ao analisar o desenvolvimento da região metropolitana de Belém, Pereira et al. (2017) também identificou que a degradação de indicadores sociais não se devia à redução de investimentos e da capacidade político-institucional, mas sim ao aumento na demanda por infraestrutura e por serviços urbanos.

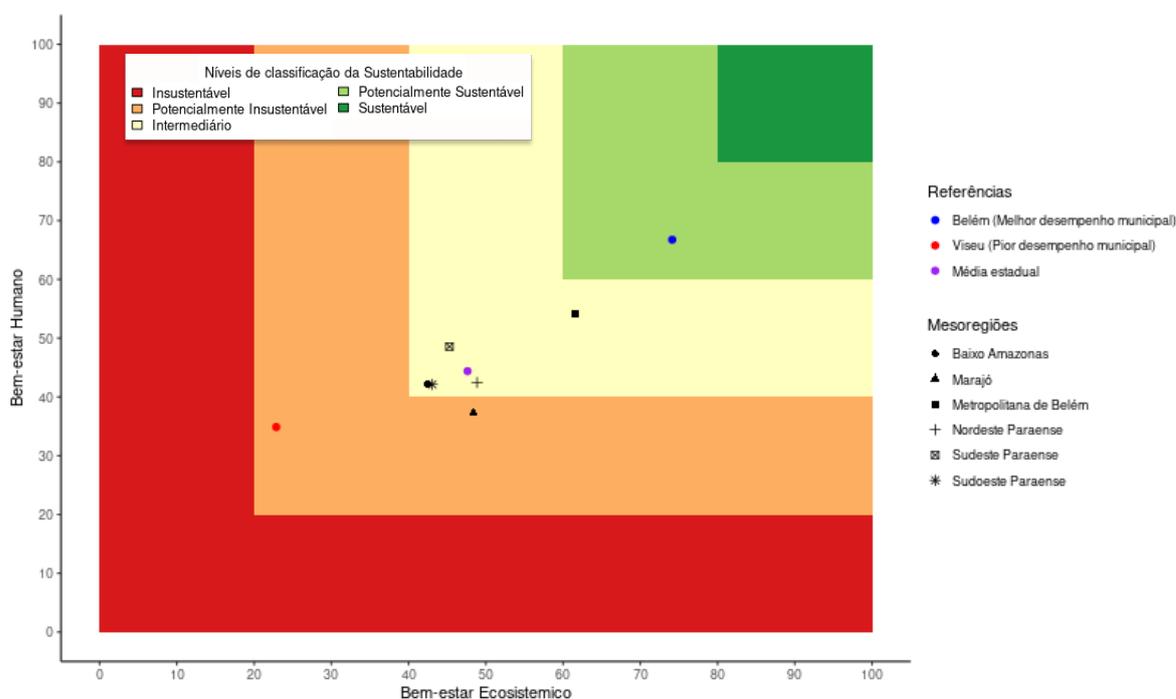
Como a classificação do município na escala do BS é uma operação de síntese, realizada pela média aritmética de suas componentes, a análise em diferentes níveis de estratificação é recomendada (eixos, dimensões, temas e variáveis). Na Figura 18, é possível analisar o indicador decomposto em eixos de Bem-Estar Humano (formado pelas dimensões Social e Econômica) e Bem-Estar Ecológico (formado pela dimensão Ambiental). Tal nível de decomposição da análise (Bem-Estar Humano e Bem-Estar Ecológico) é parte integrante do Barômetro da Sustentabilidade sendo praticada desde a sua concepção (PRESCOTT-ALLEN, 2001). Para efeito de comparação é adicionado o município de melhor desempenho no BS, o município de pior desempenho, e também, o BS médio obtido pelo Estado do Pará (média regional). Para este estudo, o município de Belém e Parauapebas, a capital e um município interiorano, servem como referências de direção para o investimento de políticas públicas que minimizem os principais gargalos encontrados durante a execução deste trabalho.

Além do nível de sustentabilidade, os resultados estratificam as variáveis com os piores índices de sustentabilidade. A partir da análise dos dados foi possível observar que as variáveis T_BANAGUA (Percentual da população que vive em domicílios com banheiro e água encanada) tem 98,6% dos municípios em situação Potencialmente Insustentável ou Insustentável; GINI (Índice de Gini) tem 94,41% dos municípios em situação Potencialmente Insustentável ou Sustentável; P_FORMAL (Grau de formalização do trabalho das pessoas ocupadas) conta com 86,71% dos municípios em situação Potencialmente Insustentável ou Insustentável, T_ANALF15M (Taxa de analfabetismo da população de 15 anos ou mais de idade) conta com 86,01% dos municípios em

situação Potencialmente Insustentável ou Insustentável. Tais fatores são os que mais influenciam negativamente para a sustentabilidade dos municípios paraenses, assim, sendo os que merecem atenção e devem ser atendidos de forma emergencial para garantir de forma científica e estratégica a melhoria dos índices de sustentabilidade nas regiões e cidades impactadas.

Do gráfico da Figura 18, vê-se que a amplitude do BS entre as mesorregiões presentes no Estado do Pará (diferença entre o maior e o menor BS) supera o 15%, confirmando assim, uma grande assimetria regional, principalmente em relação à região Metropolitana de Belém. Essa diferença se intensifica quando comparada ao município com maior índice, podendo alcançar 28% de diferença.

Figura 18 – Gráfico do Bem-Estar obtido do Barômetro da Sustentabilidade das mesorregiões Paraenses.



Fonte: Elaborado pelo autor

Para comparar os resultados entre as regiões, uma correlação foi aplicada nos dados do BS médio regional e suas dimensões ambiental, social e econômica, conforme a Tabela 12. Os resultados indicam que as mesorregiões Nordeste e Marajó acompanham a tendência da região Metropolitana de Belém, sugerindo uma influência espacial entre as regiões adjacentes. No entanto, a região Nordeste também preserva correlação positiva e significativa com a região do Baixo Amazonas. Nesse caso, leva a acreditar que existam aspectos históricos em relação ao padrão de ocupação do território paraense — que se iniciou pela região nordeste e foi adentrando em direção ao Baixo Amazonas. Embora as relações de causalidades históricas não sejam tão relevantes para a solução dos problemas de sustentabilidade mais contemporâneos, é interessante notar a influência do processo de formação do território na tendência de desenvolvimento, sobretudo quando foi marcado por práticas insustentáveis. Nesse viés, a região Sudeste apresenta

um padrão de desenvolvimento sustentável diferente (correlação forte e negativa), mesmo considerando a relação espacial de vizinhança com a região Nordeste.

Tabela 12 – Matriz de correlação regional

	Baixo Amazonas	Marajó	Metropolitana de Belém	Nordeste	Sudeste	Sudoeste
Baixo Amazonas	1	0.17	0.37	0.76	-0.54	-0.78
Marajó	0.17	1	0.98	0.77	-0.92	0.49
Metropolitana de Belém	0.37	0.98	1	0.88	-0.98	0.30
Nordeste Paraense	0.76	0.77	0.88	1	-0.96	-0.18
Sudeste Paraense	-0.54	-0.92	-0.98	-0.96	1	-0.11
Sudoeste Paraense	-0.78	0.49	0.30	-0.18	-0.11	1

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Tabela 13 podemos verificar a distribuição dos municípios em níveis de sustentabilidade e por mesorregião. Na região do Baixo Amazonas, aproximadamente 46% dos municípios foram classificados como Potencialmente Insustentável, enquanto que no Marajó e Sudoeste Paraense metade dos seus respectivos municípios foram classificados nesse nível. Certamente, a distribuição é particularmente útil para que gestores, que atuam no Governo do Estado, possam identificar regiões prioritárias de PP. Para mais, apenas duas regiões possuem municípios que tenham atingido o nível de Potencialmente Sustentável, o que deve motivar mais estudos com o intuito de identificar características que possam ser replicadas nas demais regiões.

Tabela 13 – Número de municípios por região e nível de sustentabilidade

Região	Insustentável	Potencialmente Insustentável	Intermediário	Potencialmente Sustentável	Sustentável
Baixo Amazonas	0	6	8	0	0
Marajó	0	8	8	0	0
Metropolitana de Belém	0	1	5	5	0
Nordeste Paraense	0	15	34	0	0
Sudeste Paraense	0	5	31	3	0
Sudoeste Paraense	0	7	7	0	0

Fonte: Elaborado pelo autor.

Em relação ao desempenho municipal a seguir são apresentadas duas tabelas, estando contida na primeira os 10 municípios melhores classificados pelo BS (Tabela 14), e na segunda os 10 municípios no Estado com os piores desempenhos no WBI (Tabela 15).

Tabela 14 – Dez municípios com melhor indicador do BS

Município	Região	BS
BELÉM	Metropolitana de Belém	66.2
PARAUPEBAS	Sudeste Paraense	65.8
ANANINDEUA	Metropolitana de Belém	64.8
MARITUBA	Metropolitana de Belém	62.6
BENEVIDES	Metropolitana de Belém	62.4
CANAÃ DOS CARAJÁS	Sudeste Paraense	61.7
CASTANHAL	Metropolitana de Belém	60.7
TUCURUÍ	Sudeste Paraense	60.6
SANTA ISABEL DO PARÁ	Metropolitana de Belém	57.1
NOVO PROGRESSO	Sudoeste Paraense	57.0

Fonte: Elaborado pelo autor.

O indicador calculado para todos os municípios pode ser visualizado no Apêndice A, bem como suas componentes dimensionais e sua classificação em relação aos níveis de sustentabilidade. Tal artefato é um importante instrumento para acompanhamento e monitoramento do indicador de sustentabilidade, visto que compreende todos os municípios e utiliza uma metodologia compatível com outros trabalhos já conduzidos em menor escala, permitindo sua comparação temporal para as próximas utilizações deste trabalho.

Tabela 15 – Dez municípios com pior desempenho em sustentabilidade, de acordo com o BS

Município	Região	BS
WISEU	Nordeste Paraense	30.7
CACHOEIRA DO PIRIÁ	Nordeste Paraense	31.8
AUGUSTO CORRÊA	Nordeste Paraense	32
CHAVES	Marajó	32.5
GARRAFÃO DO NORTE	Nordeste Paraense	33.2
AVEIRO	Sudoeste Paraense	33.4
PORTO DE MOZ	Baixo Amazonas	33.9
PLACAS	Baixo Amazonas	34
SÃO DOMINGOS DO CAPIM	Nordeste Paraense	34.6
CURRALINHO	Marajó	34.8

Fonte: Elaborado pelo autor.

A análise aqui conduzida, explora cada dimensão do BS através dos recursos analíticos (mapas, tabelas e gráficos) gerados com o apoio da ferramenta de automatização desenvolvida. Mais recursos podem ser visualizados detalhadamente no Apêndice B, bem como os resultados tabulares estratificados por município e variável.

6.1.1 Análise por Região - Mesorregião Metropolitana de Belém

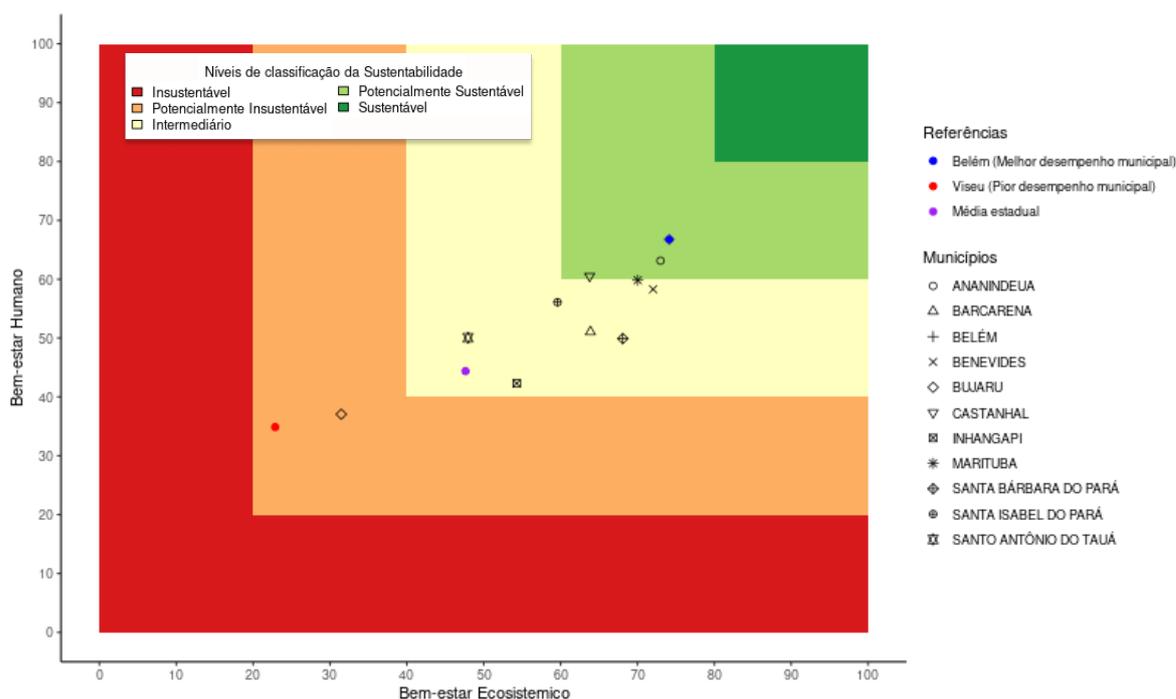
Nesta sessão será realizada a análise mais detalhada da Mesorregião Metropolitana de Belém, que abrange 11 municípios que fazem parte da região de influência da capital e

de sua zona metropolitana. A região atingiu **WBI** de $<56,1>$, sendo portanto classificada em nível Intermediário de Sustentabilidade ($40 < BS \leq 60$). O desempenho a nível municipal foi de 05 municípios classificados como Potencialmente Sustentável ($60 < BS \leq 80$), 5 (cinco) classificados como Intermediário, e apenas 01 (um) município classificado como Potencialmente Insustentável ($20 > BS \leq 40$).

A Figura 19 ilustra a Mesorregião Metropolitana de Belém, a qual possui 05 municípios em situação Potencialmente Sustentável, sendo Belém, Ananindeua, Marituba, Benevides e Castanhal. Belém se destaca como a cidade com maior índice de sustentabilidade, enquanto Bujaru figura acentuadamente como a pior.

O resultado demonstra que todos os municípios classificados como Potencialmente Sustentável também fazem parte da Região Metropolitana de Belém⁸, com exceção dos municípios de Barcarena, Santa Isabel do Pará e Santa Bárbara. O município de Castanhal também se destaca pelo posicionamento no intervalo Potencialmente Sustentável, ficando melhor posicionado que municípios como Marituba e Santa Isabel do Pará que são mais próximos da capital.

Figura 19 – Gráfico do BS para a Região do Metropolitana de Belém.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O gráfico do **BS** (Figura 19) é útil para comparar os territórios analisados em termos das componentes de bem-estar, isto é, considerando os eixos de Bem-Estar Humano *Human*

⁸ A Região Metropolitana de Belém (RMB) foi instituída por Lei Complementar que estabelece uma região de conurbação, sendo municípios integrados socioeconomicamente. Criada em 1973 composta pelos municípios de Belém e Ananindeua; sendo alterada em 1995 para inclusão dos municípios de Benevides, Marituba e Santa Bárbara. Em 2011 foi adicionado o município de Castanhal, e, neste ano de 2023, o município de Barcarena foi integrado à região, totalizando oito municípios.

Wellbeing Index (HWI) e o eixo de Bem-Estar Ecosistêmico *Ecosystem Wellbeing Index* (EWI). Adicionalmente, a análise pode ser realizada em cada uma das dimensões por meio de mapas e tabelas gerados pela ferramenta proposta.

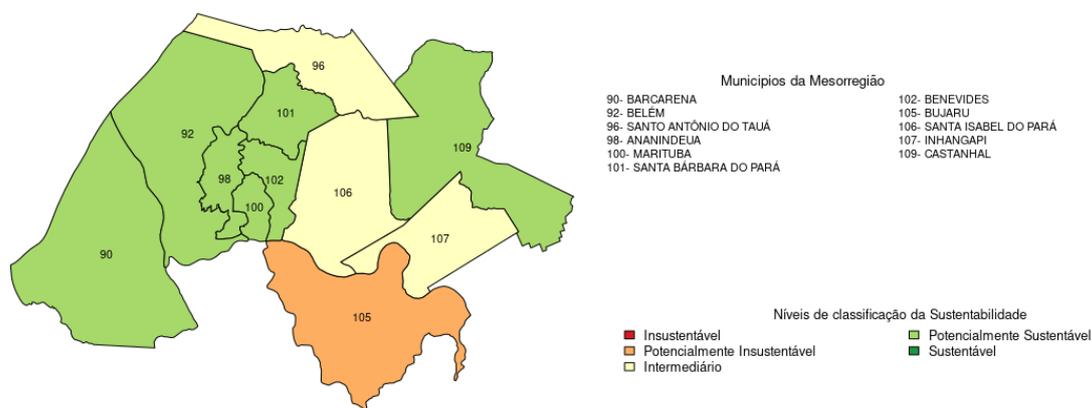
A Figura 20 mostra o desempenho de cada um dos municípios da região na dimensão ambiental. O mapa temático ajuda a destacar o desempenho obtido, onde cada cor determina a classificação do município em um dos cinco níveis de sustentabilidade usados pelo BS. Com isso, podemos verificar que na dimensão ambiental, 07 municípios foram classificados como Potencialmente Sustentável, sendo 06 deles no entorno da Capital. O município de Castanhal, que não faz fronteira com a Capital também foi classificada como Potencialmente Sustentável.

Foram classificados como Intermediário, os municípios de Santo Antonio do Tauá, Santa Isabel do Pará e Inhangapi. Curiosamente, os 03 municípios apresentam desempenho modesto na maioria das variáveis analisadas na dimensão ambiental, destaca-se que o município de Santa Isabel do Pará tem um desempenho ligeiramente superior ao município de Castanhal nas variáveis AGUA_ESGOTO (% Pessoas em domicílios com abastecimento de água e esgoto inadequados), P_FLORA (Cobertura vegetal natural), P_FOCOS (Concentração dos focos de calor) e até T_LIXO (% da população que vive em domicílios com coleta de lixo), no entanto, apresentou desempenho inferior na variável PINTERDRSAI⁹ (% de internações por doenças relacionadas ao saneamento básico) de <40,5>, além do baixíssimo desempenho (<19,2>) em T_BANAGUA (% da população que vive em domicílios com banheiro e água encanada) indicando desempenho Insustentável. Santo Antonio do Tauá apresentou o pior desempenho regional na variável PINTERDRSAI, com BS de <27,2>, enquanto o município de Inhangapi apresentou o pior desempenho regional na variável AGUA_ESGOTO, com BS de <39,2>.

Já o município de Bujaru, foi o único município com classificação Potencialmente Insustentável. Apesar das reconhecidas belezas naturais e do potencial ecológico (SILVA et al., 2013), a região amarga o pior desempenho da região nas variáveis P_FOCOS (<24,5>) e T_BANAGUA (<7,4>). Rodrigues et al. (2001) ajuda a clarificar a situação ambiental de Bujaru, que tem sua economia calcada em atividades extrativistas com um sistema de agricultura dominada pela prática de "derruba e queima", com um período de pousio (descanso da terra) cada vez menor, resultando na degradação de solos, e constante alteração dos ecossistemas pela busca de novas áreas cultiváveis.

⁹ Os valores devem ser interpretados na escala do BS e não no domínio original da variável. Assim, variáveis como Concentração de focos de calor ou Internações ocasionadas por doenças relacionadas ao saneamento básico, no domínio original, podem ser consideradas decrescentes (quanto menor o valor, melhor o resultado). No entanto, ao calcular o BS para as variáveis, a interpretação é uniformizada, de modo que para qualquer variável um valor de [0 a 20] vai significar um desempenho ruim (Insustentável), da mesma forma que um valor [80 a 100] significará um bom desempenho (Sustentável).

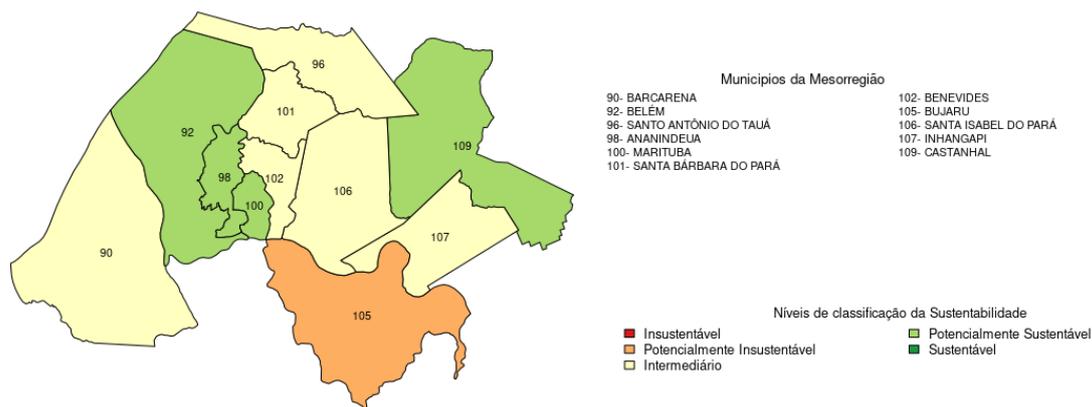
Figura 20 – Mapa temático da mesorregião Metropolitana classificado por nível de Sustentabilidade na dimensão Ambiental.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A classificação municipal, para a dimensão social, pode ser observada na Figura 21. Nesta dimensão, 05 territórios foram classificados como Potencialmente Sustentável; 06 territórios classificados como Intermediário, e, apenas 01 foi classificado como Potencialmente Insustentável.

Figura 21 – Mapa temático da mesorregião Metropolitana classificado por nível de Sustentabilidade na dimensão Social.



Fonte: Elaborado pelo autor.

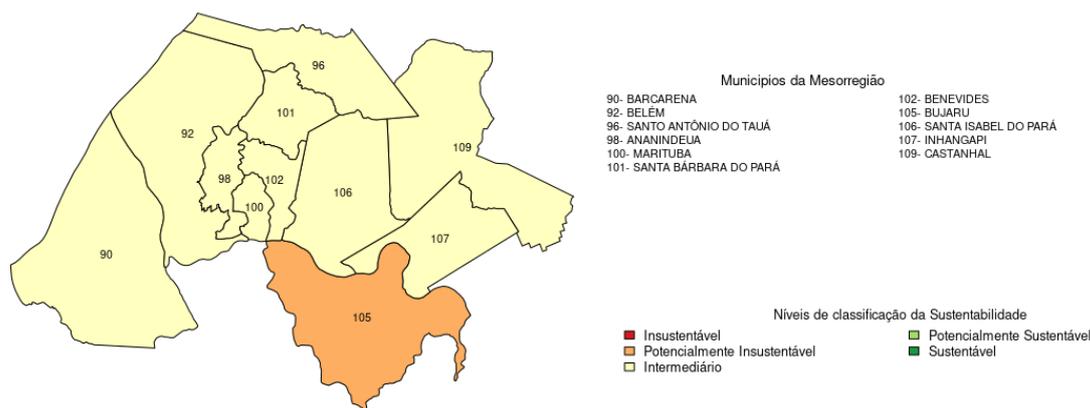
Foram classificados como Potencialmente Sustentável os municípios de Belém, Ananindeua, Marituba e Castanhal. Belém se destaca nessa dimensão por conseguir o melhor desempenho regional em todas as variáveis (vide Tabela 18 no Apêndice B). Destaca-se que esses municípios possuem juntos mais de 80% de suas populações em áreas urbanas, o que

melhora o acesso à bens e serviços. Além disso, os municípios de Belém, Ananindeua e Marituba possuem desempenho em sustentabilidade superior a <61> na variável T_ANALF15M (Taxa de analfabetismo), nessa variável, Castanhal apresenta um resultado Potencialmente Insustentável, com BS de <48,7>. A T_ENV (Taxa de Envelhecimento) do município de Marituba apresenta o pior índice de sustentabilidade do indicador para a região (<29>).

Na classificação Intermediária estão os municípios: Barcarena, Santo Antônio do Tauá, Santa Bárbara do Pará, Benevides, Santa Isabel do Pará e Inhangapi. Diferentemente dos municípios classificados como Potencialmente Sustentáveis, os municípios classificados como Intermediários apresentam uma boa parcela da população fora das áreas urbanas, sugerindo que existem carências de infraestrutura e dificuldade de acesso à bens e serviços que possam favorecer a qualidade de vida. Inhangapi apresenta os piores desempenhos da região para as variáveis MORT5 (Mortalidade até os 5 anos de idade) aferindo BS de <53,7>, POP_URB com BS de <25,9> e T_ANALF15M com desempenho de <28,7>.

Já Bujaru, é o único município da região classificado como Potencialmente Insustentável pelo BS, este apresentou o pior indicador regional para a variável T_AGUA com BS aferido em <26,7>. Demonstrou também desempenho Potencialmente Insustentável nas variáveis POP_URB (<30>) e T_ANALF15M (<30,8>). A classificação na dimensão econômica (Figura 22) resultou em 10 municípios classificados como Intermediário, e apenas 01 município (Bujaru) classificado como Potencialmente Insustentável.

Figura 22 – Mapa temático da mesorregião Metropolitana classificado por nível de Sustentabilidade na dimensão Econômica.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Belém foi o município com melhor desempenho regional, auferindo melhores resultados nas variáveis P_FORMAL (grau de formalização do trabalho), RAZDEP (razão de dependência) e RENOCUP (Rendimento médio dos ocupados) de, respectivamente, <87,2>, <83,1> e <80>. Por outro lado, Belém também obteve os piores índices da região nas variáveis GINI (Índice

de Gini), THEIL (Índice de Theil) e THEILTrab (Índice de Theil dos rendimentos do trabalho), com (<32,6>), <27,3>) e (<35,3>), respectivamente, nos indicadores usados para medição de desigualdades sociais. Deste modo, é importante destacar que ainda há muito trabalho a ser realizado pelas prefeituras, mesmo em municípios potencialmente sustentáveis.

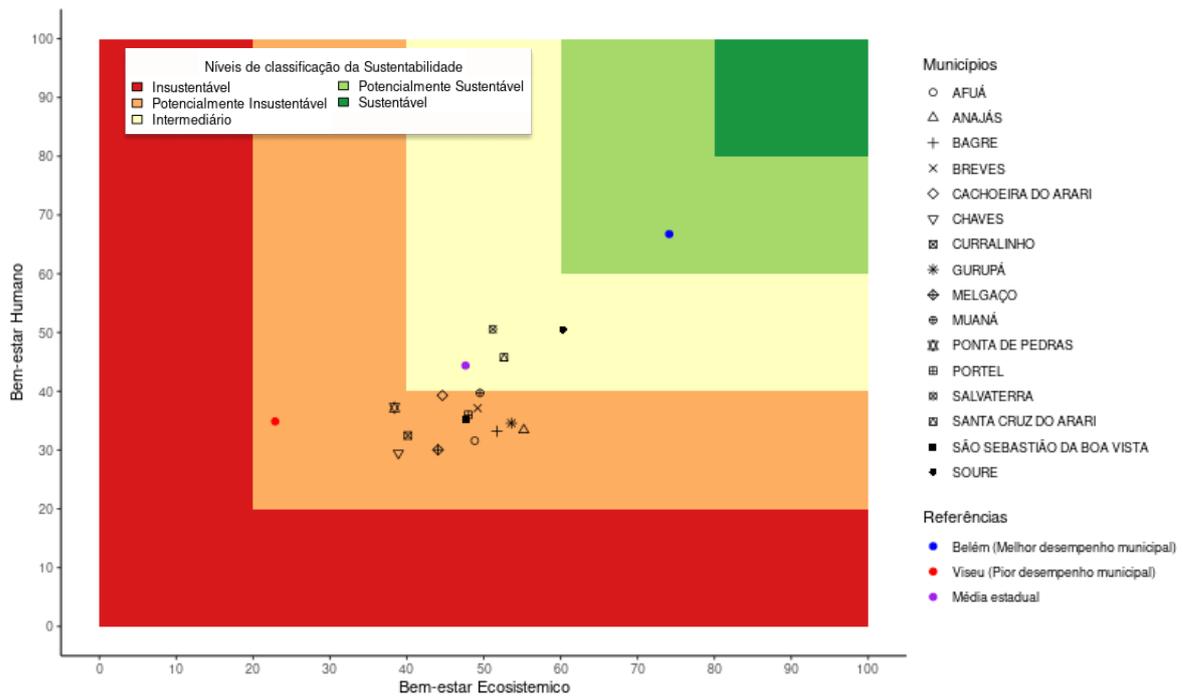
A variável P_SIUP indica o nível de pessoal ocupado em atividades industriais de utilidade pública, ou seja, essa variável mede indiretamente o quanto de infraestrutura (pública e privada) estão disponíveis para a população em atividades como transporte público, coleta de lixo, serviços de saneamento etc. Nesse aspecto, os municípios de Inhangapi e Bujaru apresentam valores criticamente Insustentáveis.

Destaca-se que o município de Marituba apresentou melhores resultados regionais nas variáveis que medem fenômenos de desigualdade social GINI(<56>), THEIL(<67>) e THEILTrab (<78>). No entanto, embora revele um ponto positivo, esses indicadores não resultam, sozinhos, em situação de Bem-Estar Econômico, por isso, é necessário notar e intervir para melhoria dos índices das demais variáveis, sendo elas: REN_PIBIC_D (Produto Interno Bruto per capita) e RENOCUP, que se apresentam em situação Potencialmente Insustentável (<24,23>) e Potencialmente Sustentável (67,13), respectivamente.

6.1.2 Análise por Região - Mesorregião do Marajó

A mesorregião do Marajó, que conta com 16 municípios e obteve menor desempenho absoluto na escala do BS (<40,4>), sendo assim, classificada também com nível Intermediário de Sustentabilidade ($40 < BS \leq 60$). A análise gráfica com a Figura 23 permite observar ainda que mais de 50% dos municípios ficaram classificados como Potencialmente Insustentável ($20 < BS \leq 40$). Vale destacar que, apesar do desempenho, a mesorregião Marajoara obteve desempenho superior que as regiões do Baixo Amazonas, Sudoeste Paraense e Sudeste Paraense no eixo de bem-estar ecossistêmico. Tal análise, nos permite compreender melhor a situação regional, que apesar de possuir reconhecidas riquezas naturais, carece de implementos sociais e econômicos que assegurem a qualidade de vida dos seus habitantes, sobretudo nas localidades mais afastadas.

Figura 23 – Mapa da Região do Marajó com a a classificação municipal.

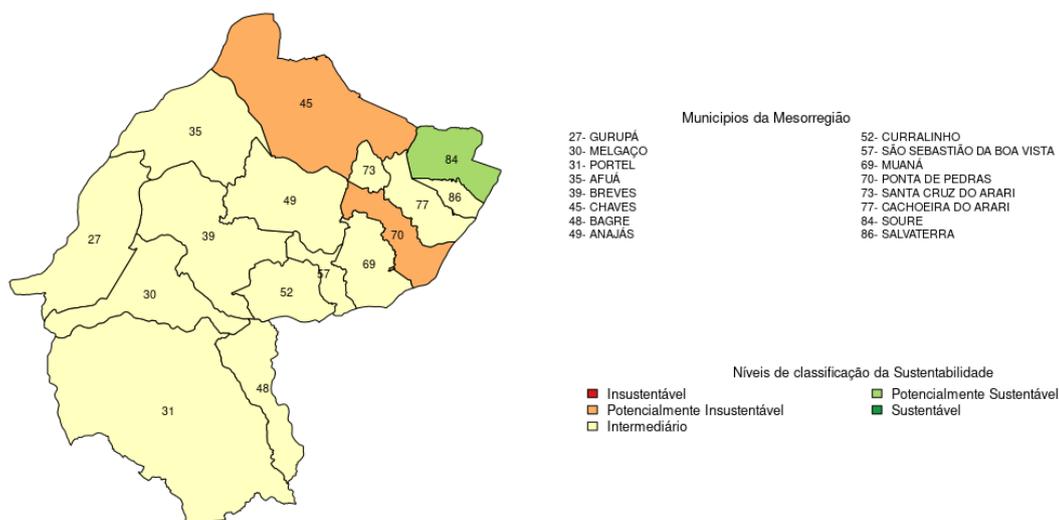


Fonte: Elaborado pelo autor.

Os 08 municípios classificados como Potencialmente Insustentável foram: Portel, Bagre, São Sebastião da Boa, Ponta de Pedras, Afuá, Curalinho, Melgaço e Chaves. Os demais foram classificados com nível Intermediário. Vale destacar que apenas 03 municípios tiveram desempenho superior a média estadual.

De fato, a distância e as dificuldades de acesso às localidades parece determinante para análise da qualidade de vida (Bem-estar Humano). Na região Marajoara se destacam os municípios de Soure, Salvaterra e Santa Cruz do Arari como localidades com melhores índices de sustentabilidade, e também os mais próximos da capital do estado do Pará. Por outro lado, o município de Chaves é a localidade que apresenta pior desempenho na região, com destaque para as dimensões econômica e social. Alguns municípios da região do Marajó, como é o caso de Chaves, Afuá e Gurupá, chegam a ser mais próximos de Macapá, capital do Amapá, do que de Belém.

Figura 24 – Mapa temático da mesorregião do Marajó classificado por nível de Sustentabilidade na dimensão Ambiental.



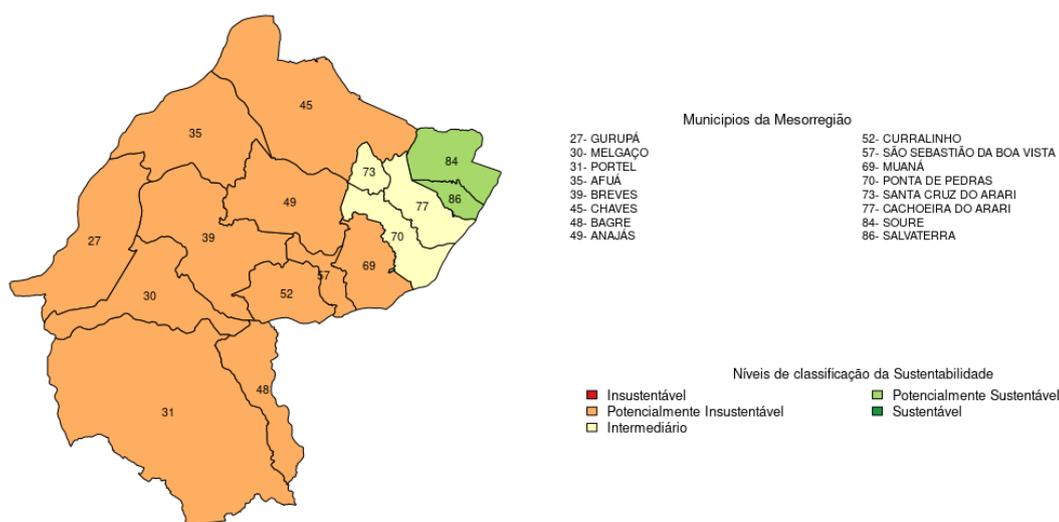
Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao observar com mais atenção o desempenho dos municípios da região na dimensão ambiental, percebe-se que as duas variáveis com maior impacto negativo são: AGUA_ESGOTO (% de domicílios com abastecimento de água e esgoto adequado), com 10 municípios em situação Insustentável; e T_BANAGUA (% de pessoas cujo domicílio possui banheiro e água encanada adequados), com todos os 16 municípios em situação Insustentável. As variáveis representam o acesso à população local à serviços urbanos básicos, que quando não providos de maneira adequada aumentam o risco de deterioração do meio ambiente, sobretudo o de poluição/contaminação de rios e mananciais. Além disso, com o comprometimento desses recursos ambientais há um efeito colateral na saúde das pessoas.

Por outro lado, contribuem positivamente para a sustentabilidade na dimensão ambiental as variáveis PFLORA (% de cobertura vegetal), PFOCOS (Concentração de focos de calor) e PINTERDSAI (% de internações por doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado), com as seguintes quantidades de municípios em situação Potencialmente Sustentável/Sustentável, respectivamente, 06|10, 08|04 e 07|03. Interessante ainda notar que, apesar das variáveis relacionadas ao saneamento básico indicarem baixo padrão de desenvolvimento sustentável (AGUA_ESGOTO e T_BANAGUA), esses reflexos negativos ainda não são notados na variável PINTERDSAI, o que leva a crer que o meio ambiente ainda tem capacidade de resposta e consegue absorver o impacto ambiental sem gerar consequência para a saúde dos habitantes locais; ou ainda, a inconsistência advém do problema de sub-notificação de casos reportados ao SUS - em todo caso, o fenômeno observado exige atenção das autoridades públicas para adoção de medidas no sentido de evitar problemas sanitários mais graves no futuro. Desse modo, para minimizar os problemas se faz necessário aplicar maiores investimentos públicos em tratamento de água e saneamento básico nos municípios do Marajó.

De modo complementar, na região Marajoara se destacam os municípios de Soure, Salvaterra e Santa Cruz do Ariri como localidades com melhores índices de sustentabilidade, sendo também os mais próximos da capital do Estado do Pará. Por outro lado, o município de Chaves é a localidade que apresenta pior desempenho na região, com destaque para as dimensões econômica e social. É válido reforçar que alguns municípios presentes na região do Marajó, como é o caso de Chaves, Afuá e Gurupá chegam a ser mais próximos de Macapá, capital do Amapá, do que de Belém.

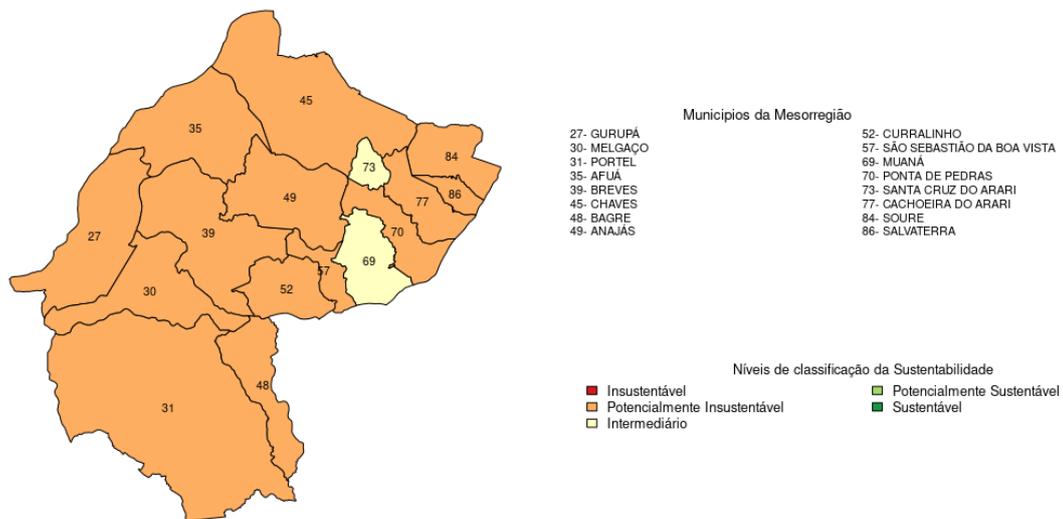
Figura 25 – Mapa temático da mesorregião do Marajó classificado por nível de Sustentabilidade na dimensão Social.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Já na dimensão Social, identifica-se que as variáveis que mais contribuem negativamente para os resultados são T_AGUA (Percentual da população que vive em domicílios com água encanada) e T_ANALF15M (Taxa de analfabetismo da população de 15 anos ou mais de idade) que contabilizam, respectivamente, 12 e 09 municípios em nível Insustentável. A variável T_ENV (Taxa de envelhecimento) apresenta 05 municípios em situação Potencialmente Insustentável (Afuá, Anajás, Bagre Curralinho e Portel), e apenas 01 em situação Insustentável (Melgaço), tais dados também exigem atenção, visto que a região não oferece suporte suficiente à qualidade de vida da população idosa. Em relação à variável POP_URB (População vivendo em área urbana) contabiliza-se 08 municípios em situação Potencialmente Insustentável, e 01 em situação Insustentável (município de Chaves). Destacam-se positivamente os municípios de Salvaterra e Soure por alcançarem desempenho Sustentável nas variáveis T_AGUA e POP_URB. De fato, são os municípios com maiores condições de acesso aos serviços básicos.

Figura 26 – Mapa temático da mesorregião do Marajó classificado por nível de Sustentabilidade na dimensão Econômica.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Por sua vez, a análise da dimensão econômica indica que as variáveis REN_PIBPC_D (Produto Interno Bruto *Per Capita*), P_FORMAL (Grau de formalização do trabalho das pessoas ocupadas) e P_TRANSF (Percentual de ocupados na indústria de transformação) são as mais insustentáveis, acumulando, respectivamente, 15, 09 e 09 municípios. As variáveis encontram-se relacionadas à medida que a região é a que possui melhor desempenho em cobertura vegetal, e portanto, ainda tem seus modos de vida vinculados à exploração florestal e ao extrativismo. O baixo percentual de atividade na indústria de transformação e beneficiamento dos produtos florestais indica que a atividade é uma janela de oportunidade para a região, com potencial para impulsionar o aumento do PIB *per capita*, e também, o aumento de atividades econômicas formais de emprego e renda com a contribuição de empresas, cooperativas e associações.

Os dados tabulares completos são fornecidos no Apêndice C que compara os municípios da região do Marajó com os índices obtidos pelo melhor município do Pará. A partir dos resultados é possível visualizar a distância entre cada categoria calculada pelo BS, podendo ser útil para indicar onde se deve investir para enfrentar os problemas nas esferas ambiental, social e econômica.

6.1.3 Análise por Região - Mesorregião do Baixo Amazonas.

A mesorregião do Baixo Amazonas é uma das mais importantes do ponto de vista estratégico, tanto pela sua cobertura vegetal nativa, como também pelas suas fronteiras sensíveis em relação a segurança pública e nacional, fazendo fronteira com Estados estrangeiros (Suriname e Guiana), e, outros Estados brasileiros, como Amapá, Amazonas e Roraima.

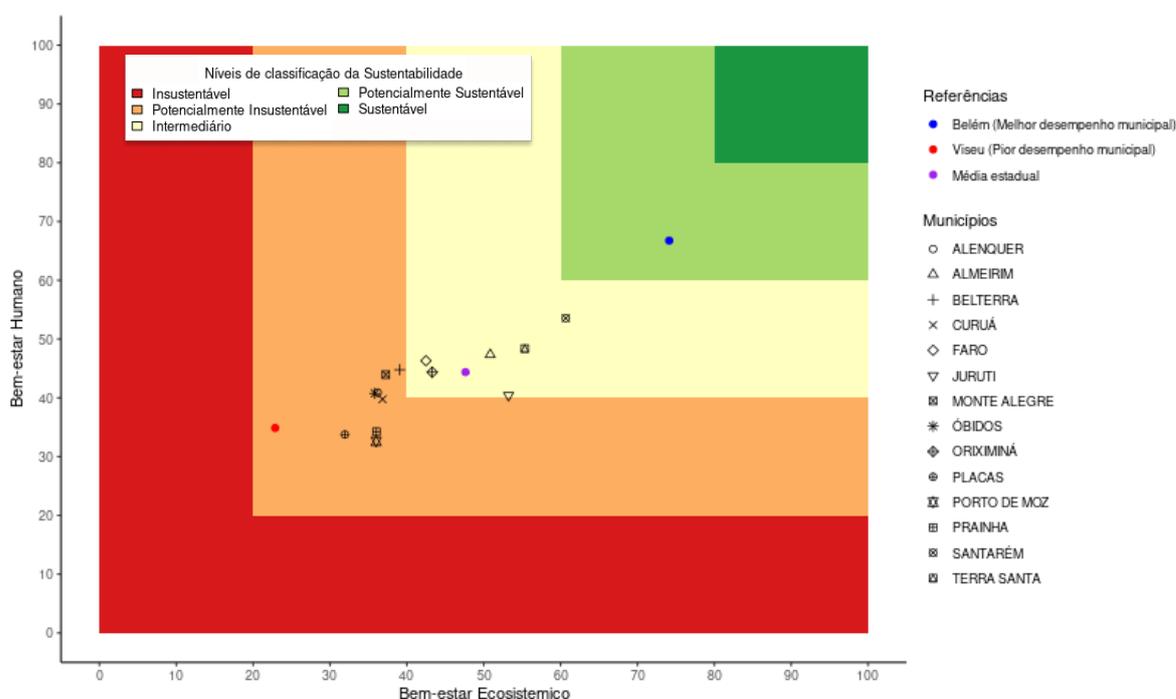
A região do Baixo-Amazonas possui 15 municípios e uma região metropolitana formada

pelos municípios de Santarém, Belterra e Mojuí dos Campos, localizados na região Oeste do Estado. O município Mojuí dos Campos é o mais novo município, sendo emancipado no ano de 2013 à partir do desmembramento de Santarém. A situação gera uma inconsistência temporal ao analisar os dados em painel, com variáveis de 2010 que não continham o município e outras variáveis de 2017 que já registram dados para o município, por essa razão, foi necessário harmonizar os dados agregando por **AMC**.

Por esse motivo, os dados tabulares, mapas e gráficos exibem apenas 14 municípios, dos quais, 08 deles foram classificados com nível Intermediário de Sustentabilidade e 06 municípios com nível Potencialmente Insustentável. O **WBI** para a região do Baixo Amazonas foi de $\langle 42,3 \rangle$, sendo classificada com nível Intermediário ($40 < BS \leq 60$).

O panorama da análise de bem-estar alcançada pelo **BS** é apresentada na Figura 27, onde podemos observar que no eixo Ecológico, 08 municípios foram classificados como Potencialmente Insustentável, outros 05 foram classificados como Intermediário, e, apenas 01 atingiu a classificação Potencialmente Sustentável. Já no âmbito do eixo Humano, 06 municípios foram classificados em situação Potencialmente Insustentável e 08 foram classificados no nível Intermediário de sustentabilidade. Semelhante a região do Marajó, a maioria dos municípios do Baixo Amazonas se concentraram abaixo da média estadual. No entanto, em relação ao bem-estar humano, essa mesorregião respondeu melhor que a do Marajó.

Figura 27 – Gráfico do **BS** para a Região do Baixo Amazonas.



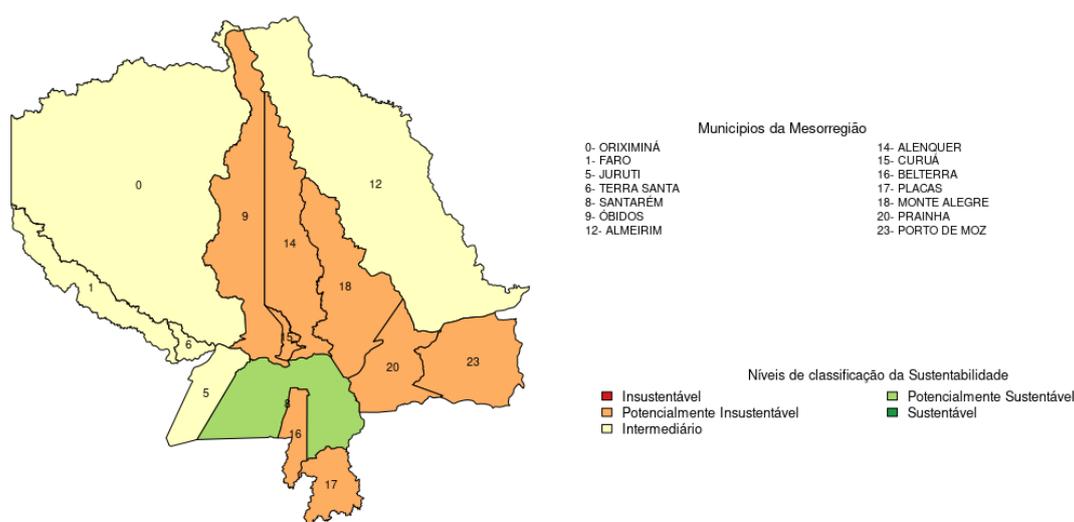
Fonte: Elaborado pelo autor.

Os municípios classificados como Potencialmente Insustentável ($20 < BS \leq 40$) foram Placas ($\langle 33,2 \rangle$), Porto de Moz ($\langle 33,7 \rangle$), Prainha ($\langle 34,8 \rangle$), Curuá ($\langle 38,8 \rangle$), Óbidos ($\langle 39,1 \rangle$)

e Alenquer (<39,3>). Tais municípios apresentam níveis baixíssimos de desenvolvimento nas variáveis T_BANAGUA (<7,54>), P_FORMAL (<17,1>), AGUA_ESGOTO (<17,3>) e REN_PIBPC_D (<19,1>). De acordo com o IBGE (2023), no ano de 2019, a área urbanizada nos municípios Placas, Porto de Moz e Prainha, era de 4,61 km², 4,06 km² e 9,71 km², respectivamente. Em relação ao percentual de população ocupada, o sistema IBGE Cidades revela que as três cidades mencionadas possuem menos de 6,5% da população ativa (IBGE, 2023).

Na Figura 28 podemos ver o mapa temático com a classificação dos municípios da região do Baixo Amazonas na dimensão Ambiental, que analisa as variáveis AGUA_ESGOTO (Pessoas em domicílios com abastecimento de água e esgoto inadequados), PFLORA (Cobertura vegetal natural), PFOCOS (Concentração de Focos de Calor), PINTERDRSAI (Percentual de internações por doenças relacionadas ao saneamento básico), T_BANAGUA (Percentual da população que vive em domicílios com banheiro e água encanada) e T_LIXO (Percentual da população que vive em domicílios com serviço de coleta de lixo).

Figura 28 – Mapa temático da mesorregião do Baixo Amazonas classificado por nível de Sustentabilidade na dimensão Ambiental.



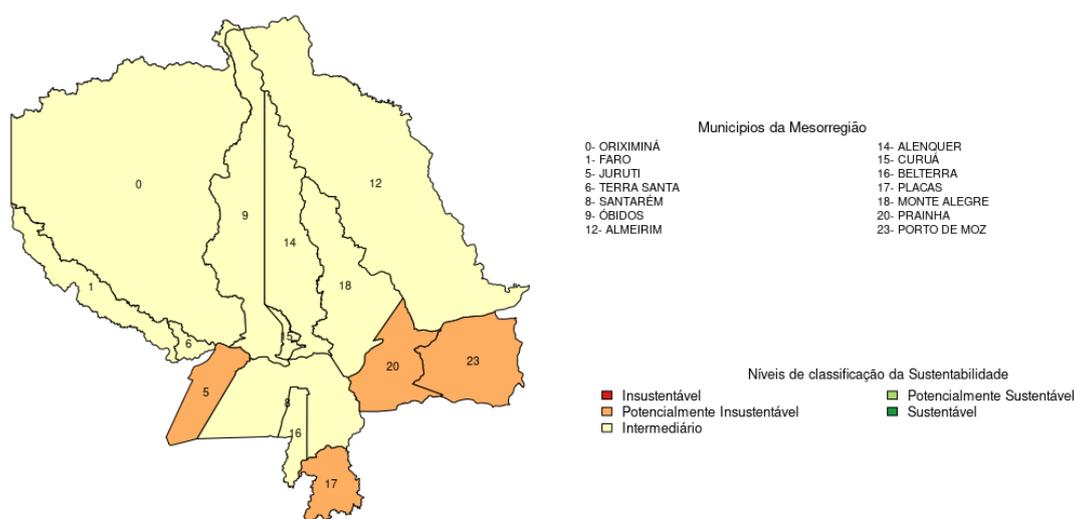
Fonte: Elaborado pelo autor.

A dimensão ambiental obteve BS de <42,5> obtendo nível Intermediário de sustentabilidade. Com destaque para a variável T_BANAGUA que aferiu os piores desempenhos com todos os municípios da região em situação Insustentável ($0 < BS \leq 20$). Nessa variável, Santarém, cidade polo obteve BS de <17,8> uma diferença de aproximadamente 35 pontos¹⁰ em relação ao município de melhor desempenho estadual (Belém). A Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, para o ano de 2017, registra que a rede de distribuição de água de Prainha possui 14 km, Santarém 778 km e Belém 2127 km, e respectivamente, 1.688, 51.323 e 274.145 residências abastecidas (IBGE, 2023).

¹⁰ Baseado na escala do Barômetro da Sustentabilidade, sendo padronizada como uma escala contínua de valor mínimo 0 e valor máximo de 100.

Os municípios da região do Baixo Amazonas se destacam positivamente em relação à variável P_FLORA, que indica a porcentagem de cobertura vegetal, na qual 10 municípios apresentam o nível de desenvolvimento Sustentável ($80 < BS \leq 100$), com destaque para o município de Santarém com desempenho de $<91,38>$ na variável. Esse resultado tem contribuição direta das áreas de proteção ambientais criadas e áreas de reserva extrativista em especial, da Reserva Tapajós Arapiuns que é dividida entre os municípios de Aveiro e Santarém (ICMBIO, 2014), apesar disso, o município registrou decremento de, aproximadamente, 1.855 km² da cobertura florestal entre 2017 a 2021 (FAPESPA, 2023). Soma-se o fato de a maioria dos municípios da chamada Calha Norte (Alenquer, Almeirim, Curuá, Faro, Monte Alegre, Óbidos, Oriximiná, Prainha e Terra Santa) fazerem parte do maior corredor ecológico do mundo e de acordo com o IMAZON (2015), 74% do território da Calha Norte é composta por Áreas Protegidas.

Figura 29 – Mapa temático da mesorregião do Baixo Amazonas classificado por nível de Sustentabilidade na dimensão Social.

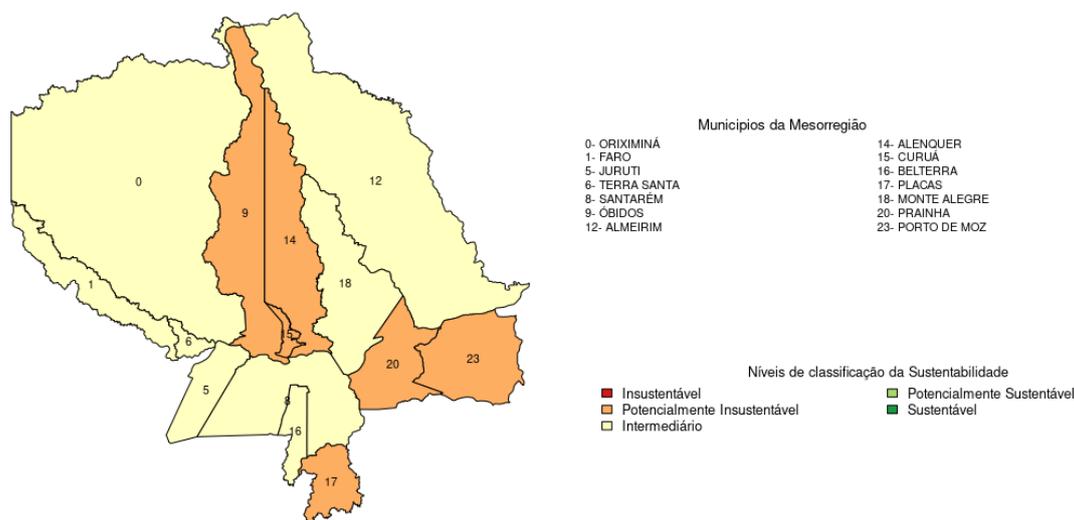


Fonte: Elaborado pelo autor.

Na dimensão social, a região obteve BS de $<43,5>$ se classificando como nível Intermediário de Sustentabilidade, pode-se observar pela Figura 29 que 10 municípios foram classificados em situação intermediária, enquanto 04 foram classificados em situação Potencialmente Insustentável. Identifica-se que as variáveis que mais contribuem negativamente são T_AGUA (% da população vivendo em domicílios com água encanada) com BS média de $<29,6>$, seguido pelo T_ANALF15M (Taxa de analfabetismo da população de 15 anos ou mais). Entre os municípios que figuram com piores desempenhos estão Oriximiná e Porto de Moz, respectivamente. Analisando outros indicadores de qualidade de ensino, como o IDEB, percebe-se que o município de Porto de Moz apresenta nota 4,7 no IDEB (anos iniciais) e o indicador cai para 3,9 no IDEB (anos finais), em termos de posição relativa no IDEB Estadual, sai da posição 49ª para 77ª entre os 144 municípios, no ano de 2021. Apesar disso, verificando a variável de taxa de evasão no ensino

fundamental na rede pública, foi constatado que de 2013 para 2014 houve uma redução de 01 ponto em Porto de Moz, enquanto o município de Placas sofreu um pequeno aumento na taxa de evasão (PNUD, 2023).

Figura 30 – Mapa temático da mesorregião do Baixo Amazonas classificado por nível de Sustentabilidade na dimensão Econômica.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na dimensão econômica, o Baixo Amazonas obteve **BS** de <41> indicando nível de desenvolvimento intermediário. Os municípios com piores resultados são Porto de Moz (<33,9>), Prainha (<34,8>), Alenquer (<35,1>), Placas (<36,5>) e mais dois municípios também classificados como Potencialmente Insustentável. Enquanto os melhores resultados foram alcançados por Santarém (<51,9>), Almeirim (<49,7>) e Oriximiná (<45,2>). No total, 08 municípios foram classificados em nível Intermediário de Sustentabilidade, conforme é apresentado na Figura 30.

O primeiro destaque em relação à variável CPR (pessoal ocupado que trabalha por conta própria) é a maior no município de Belterra com **BS** de <70,6> em comparação com Belém, que obteve <67,3>. Em contraste, o município da região que obteve o pior desempenho foi Óbidos com <32,1>. No entanto, ao analisar a variável P_FORMAL (grau de formalização das pessoas ocupadas) tem-se uma vantagem nos municípios de Almeirim <38,8>, Santarém <37,8> e Oriximiná <33,3>, mas, ainda assim, estão muito abaixo de Belém <54,5>, conforme pode ser verificado no Apêndice D. Interessante observar que os municípios de Almeirim e Oriximiná possuem sua economia fortemente baseada nas atividades de extrativismo mineral, no entanto, apesar de grandes empreendimentos na região há pouco cuidado em relação ao bem-estar das pessoas e do meio ambiente exigindo por parte das autoridades mais atenção com vistas a evitar tragédias e impactos ambientais decorrentes das atividades garimpeiras (BRASIL, 2020; ISA, 2023).

Em relação a variável RAZDEP o municípios de Porto de Moz e Curuá apresentaram baixos níveis de sustentabilidade, indicando uma forte dependência de programas sociais de

apoio à manutenção da renda, tais como aposentadorias e benefícios, resultando em poucas oportunidades de emprego formal para jovens e adultos. Outro dado importante, é a situação do rendimento médio do pessoal ocupado (RENOCUP) no município de Curuá, que apesar de estar em nível Intermediário ainda é o mais baixo da região.

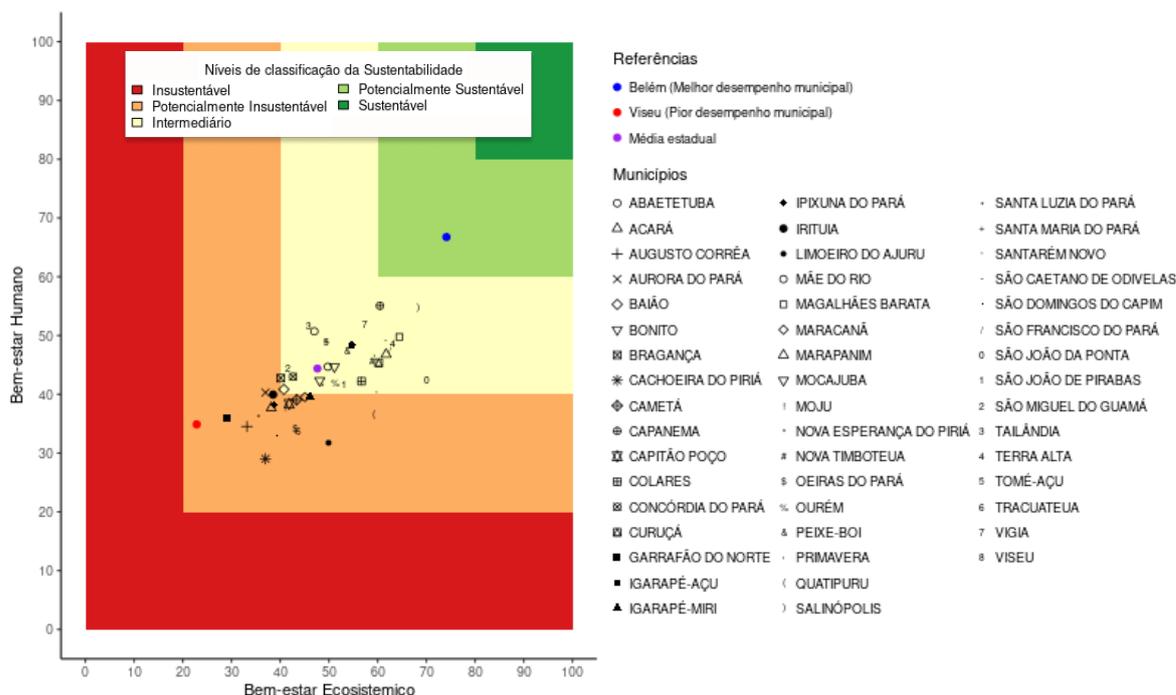
Em relação a temática da concentração de renda podemos analisar os resultados das variáveis GINI e THEIL. Percebe-se que os municípios apresentam semelhanças, isto é com pouca variabilidade em relação ao GINI e sendo classificados como Potencialmente Insustentável. O THEIL possui uma estratificação maior já que tem maior sensibilidade para medir flutuações em torno da faixa de renda mediana. De acordo com a avaliação da sustentabilidade pelo índice THEIL, o município de Faro possui uma sociedade mais homogênea em relação aos níveis de renda, enquanto os municípios mais pujantes da Calha Norte, Almeirim e Oriximiná, demonstram piores níveis de sustentabilidade com **BS** de <20,6>.

6.1.4 Análise por região - Mesorregião do Nordeste Paraense.

A Mesorregião do Nordeste Paraense é a maior região do Pará, sendo composta por 49 municípios e ocupando boa porção da margem atlântica do Estado. Além disso, a região incorpora as regiões de integração do Guamá, Tocantins e Rio Caeté (**CORDEIRO; ARBAGE; SCHWARTZ, 2017**).

A região alcançou o **WBI** de <44,6>, estando classificada com nível Intermediário de sustentabilidade e distribuição de valores em <48,9>, <45,8> e <39,1> nas dimensões ambiental, social e econômica, respectivamente. A Figura 31 ilustra o gráfico do **BS** com a distribuição dos municípios nas escalas e eixos de sustentabilidade. Para esse caso, foram obtidos os seguintes resultados: 1) Ecossistêmico com 10 municípios na situação de Potencialmente Insustentável, 30 em nível Intermediário e 09 como Potencialmente Sustentável. Já no 2) eixo Humano foram classificados 22 municípios como Potencialmente Insustentável, enquanto os outros 27 foram classificados como Intermediário. Nesse resultado é possível observar que a região nordeste retornou um maior número de municípios com **BS** superior a média estadual. Tal resultado indica que a região se encontra em situação de desenvolvimento mais favorável, quando comparada as regiões do Marajó e Baixo Amazonas.

Figura 31 – Gráfico do BS para a Região Nordeste Paraense.

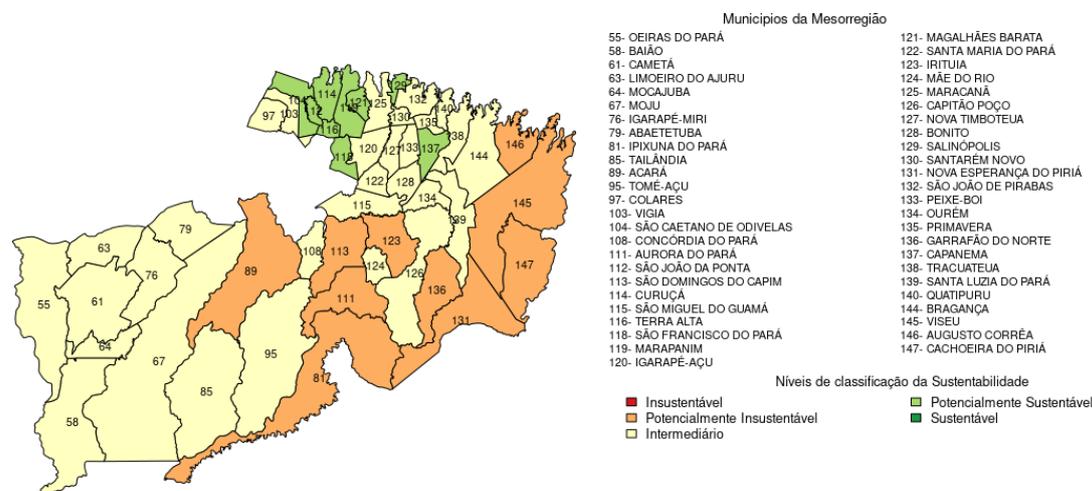


Fonte: Elaborado pelo autor.

Na dimensão ambiental (Figura 32), destacam-se positivamente 09 municípios que aferiram desempenho Potencialmente Sustentável, sendo eles: São João da Ponta (<70,1>), Salinópolis (<68,4>), Magalhães Barata (<64,5>), Terra Alta (<63,1>), São Francisco do Pará (<62,6>), Marapanim (<61,7>), São Caetano de Odivelas (<61,7>), Capanema (<60,5>) e Curuçá (<60,2>). Por outro lado, a região retornou o município com pior desempenho estadual, isto é, Viseu com BS de <22,9>.

Ao analisar a sustentabilidade da condição domiciliar, retratada pelas variáveis AGUA_ESGOTO e T_BANAGUA, observa-se um baixo nível de desenvolvimento sustentável, com valores de <42,3> e <12,4>, respectivamente. De modo a confirmar um baixíssimo nível de desenvolvimento urbano combinado com níveis preocupantes de pobreza que indicam que, aproximadamente, 80% da população está abaixo da linha da pobreza, os quais também representam 75% da população urbana (MPPA, 2023). Nas mesmas variáveis, o município de Salinópolis apresentou os melhores resultados da região, no entanto, ainda ficando abaixo de Belém.

Figura 32 – Mapa temático da mesorregião do Nordeste classificado por nível de Sustentabilidade na dimensão Ambiental.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Em relação as variáveis que monitoram aspectos ecológicos da dimensão ambiental, tem-se que apenas 01 município apresentou desempenho Insustentável em PFLORA, sendo o município de Mãe do Rio (<18,65>), enquanto que na avaliação da variável PFOCOS 09 municípios foram classificados como Insustentável, com destaque para Moju (<19,5>) e Acará (<19,6>). Por outro lado, 03 municípios foram classificados na condição sustentável na variável PFLORA (Oeiras do Pará, Magalhães Barata e Igarapé-Miri), enquanto outros 21 foram classificados como Sustentáveis na variável PFOCOS, com destaque para Salinópolis, Quatipuru, Colares e São João da Ponta.

Na dimensão Social a região alcançou nível Intermediário de Sustentabilidade obtendo **BS** de <45,8>. Em relação à distribuição dos municípios por nível de classificação foi constatado que 13 municípios foram classificados como Potencialmente Insustentável, 35 foram classificados como Intermediário, e, apenas 01 município foi classificado como Potencialmente Sustentável, conforme Figura 33.

Figura 33 – Mapa temático da mesorregião do Nordeste classificado por nível de Sustentabilidade na dimensão Social.

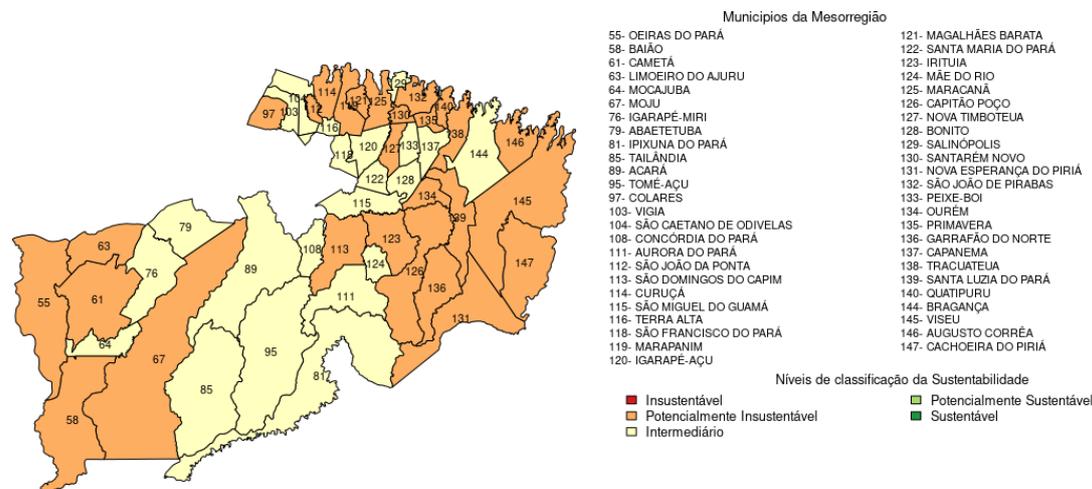


Fonte: Elaborado pelo autor.

Em relação aos fatores que mais contribuíram para baixar o **BS** da região, destaca-se a **T_ANALF15M** que teve um **BS** médio de <29,9> entre os municípios da região. Nessa variável, o município de Garrafão do Norte foi o território que atingiu **BS** de <17,5>, seguido por Cachoeira do Piriá (<17,9>), Augusto Corrêa (<18,5>), Nova Esperança do Piriá (<18,5>) e Santa Luzia do Pará (<18,8>). O município com melhor desempenho na região foi São João da Ponta (<45>), ficando ainda 23 pontos abaixo de Belém (<68,3>), acredita-se que o desempenho tenha relação com o tamanho da população, estimada em 4.430 pessoas, o que permite maior alcance relativo nas atividades de educação básica. Aqui também é identificada a variável **POP_URB** indicando baixo nível de desenvolvimento urbano e várias pessoas ainda morando na zona rural.

Em se tratando da dimensão econômica, a mesorregião do Nordeste Paraense aferiu **BS** de <39,1>, sendo o menor valor entre as dimensões analisadas. Analisando detalhadamente a Figura 34, constata-se que os municípios da região ficaram da seguinte forma distribuídos em relação ao níveis de sustentabilidade: 27 classificados como Potencialmente Insustentável e 22 classificados como Intermediário.

Figura 34 – Mapa temático da mesorregião do Nordeste classificado por nível de Sustentabilidade na dimensão Econômica.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os municípios que destacam-se com menores índices de sustentabilidade são Augusto Corrêa (<26,5>), Maracanã (<28,4>), Quatipuru (<29,7>). Enquanto que os municípios com melhores desempenho foram Tailândia (<52,7>), Capanema (<51>), Tomé-Açu (<49,8>) e Salinópolis (<48,9>).

Em relação às variáveis que mais exigem atenção frente à situação de baixo desenvolvimento sustentável estão REN_PIBPC_D, P_FORMAL e P_SIUP que apresentam, respectivamente, 34, 30 e 08 municípios em situação insustentável. A região foi uma das primeiras regiões a se consolidar economicamente, apresentando ainda muitos resquícios da concentração de terras e práticas extrativistas insustentáveis, por exemplo, o município de Tailândia teve drástica diminuição dos postos de trabalho por conta da redução do desmatamento (CORDEIRO; ARBAGE; SCHWARTZ, 2017). A gestão municipal, sobretudo de municípios com economias baseadas no extrativismo deveriam reverter parte dos ganhos de exploração com garantias para qualificação da população com vistas a incentivar novas atividades econômicas de base mais sólida e duradoura.

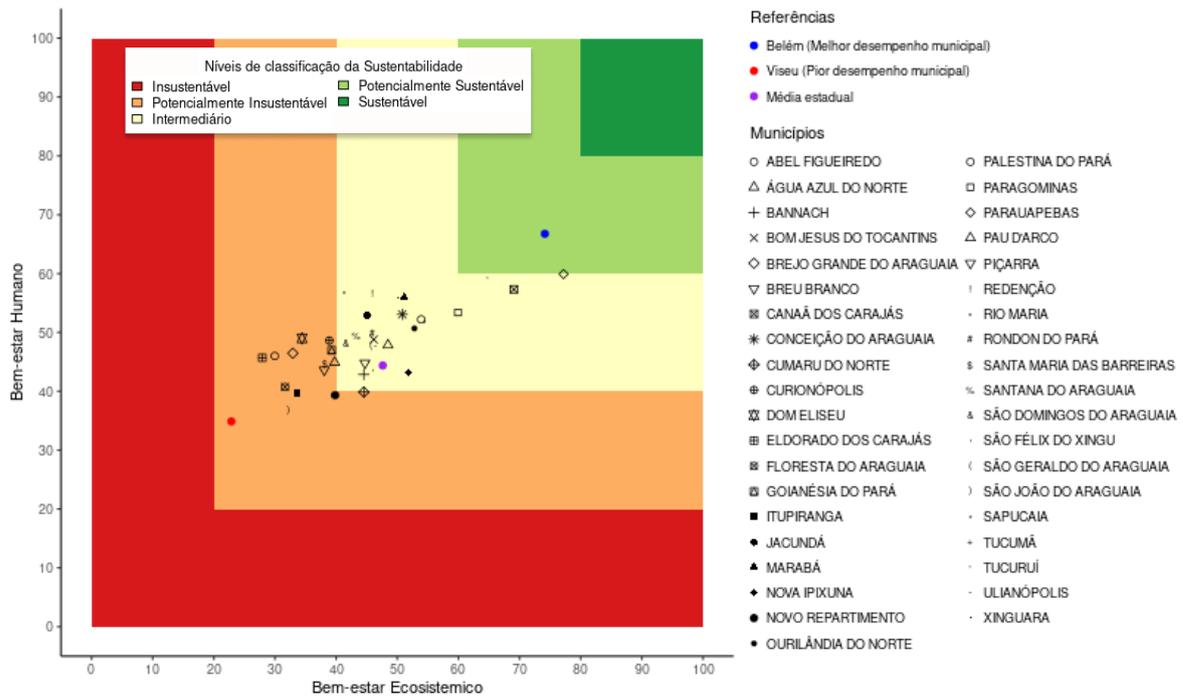
6.1.5 Análise por região - Mesorregião do Sudeste Paraense.

A região do Sudeste Paraense é composta por 39 municípios. Na análise regional da sustentabilidade foi obtido um WBI de <47,5>, o qual representa o segundo maior do Estado. Tal resultado é expressivo quando levado em consideração que a região possui mais que o triplo de municípios que a mesorregião Metropolitana (1ª colocada).

Pela Figura 35 verifica-se o desempenho em relação aos eixos de desenvolvimento. O bem-estar Humano obteve desempenho médio de <48,6>, seguindo a distribuição de 02 municípios classificados como Potencialmente Insustentável, 36 como Intermediário e, apenas 01 classificado como Potencialmente Sustentável. Do ponto de vista de bem-estar ecossistêmico,

que considera apenas a dimensão ambiental, o **BS** foi de <45,3>. No eixo ecossistêmico, a distribuição dos municípios em relação aos níveis de sustentabilidade foi de 13 municípios classificados como Potencialmente Insustentável, 23 classificados como Intermediário e 03 classificados como Potencialmente Sustentável.

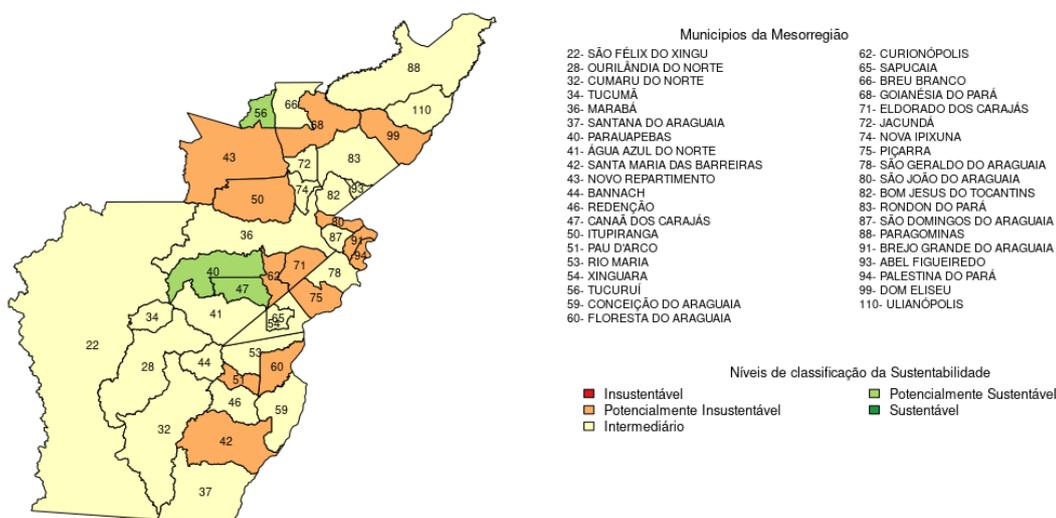
Figura 35 – Gráfico do BS para a Região do Sudeste Paraense.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Figura 36 podemos ver o mapa temático com a classificação dos municípios da região Sudeste em relação a dimensão ambiental, que por sua vez obteve um **BS** médio de <45,3>. A partir da análise das variáveis incluídas na dimensão ambiental, pode-se observar que apenas a variável T_BANAGUA (Percentual da população que vive em domicílios com banheiro e água encanada) ficou classificada como Insustentável, aferindo um valor de **BS** de <16,5>. Além disso, o município de Itupiranga foi o que obteve o menor valor de **BS** para a referida variável. De acordo com o levantamento realizado pelo IAS (2020), apenas 11,6% da população é atendida com abastecimento de água, enquanto apenas 0,97% é atendida com esgotamento sanitário. Apesar disso, a prefeitura conta com Plano Municipal de Saneamento Básico (ITUPIRANGA, 2019) desde 2019.

Figura 36 – Mapa temático da mesorregião do Sudeste classificado por nível de Sustentabilidade na dimensão Ambiental.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Em relação às variáveis que monitoram aspectos ecológicos, a PFLORA (Cobertura vegetal natural) ficou classificada com nível Intermediário, destaca-se positivamente o município de Parauapebas por atingir desenvolvimento Sustentável na variável (<81>) — auferindo desempenho superior à Belém (Município de referência). Destaca-se negativamente nessa variável, o município de Eldorado dos Carajás que auferiu **BS** <15,6>. Em relação a variável PFOCOS, o desempenho médio da variável foi de <44>, com destaque para o município de Abel Figueiredo que atingiu **BS** de <88>, seguido por Sapucaia com **BS** de <87>. Destaca-se negativamente, em relação a variável PFOCOS, o município de São Félix do Xingu com **BS** de <19,14>, o qual já foi conhecido pela atividade de extração de madeira de corte e pecuária extensiva. Tal município acumulou ao longo de 2016 a 2019, aproximadamente, 37.409 focos de calor (NERIS et al., 2020), provavelmente associados à queima de vegetação para extensão ou renovação do pasto ou rodízio de culturas.

Em relação a variável PINTERDRSAI, que monitora as internações decorrentes de doenças relacionadas ao saneamento básico e ambiental, o município de Nova Ipixuna alcançou o melhor desempenho aferindo **BS** de <97,14>, enquanto o município com pior desempenho foi Brejo Grande do Araguaia com **BS** de <19,9>. O município de Nova Ipixuna demonstra ter poucos casos de internação por diarreia, tendo registrado sete internações por mil habitantes, enquanto o município de Brejo Grande do Araguaia registrou 21,5 por mil habitantes. Em relação a variável T_LIXO, Nova Ipixuna demonstrou desempenho Intermediário (<55,5>), enquanto Brejo Grande do Araguaia apresentou desempenho Potencialmente Insustentável (<21,6>). Destaca-se ainda que o município de Nova Ipixuna contratou uma consultoria com a finalidade de subsidiar a elaboração/adequação do seu plano municipal de resíduos sólidos, resultando em um relatório com várias informações relevantes sobre as condições humanas, sociais, naturais

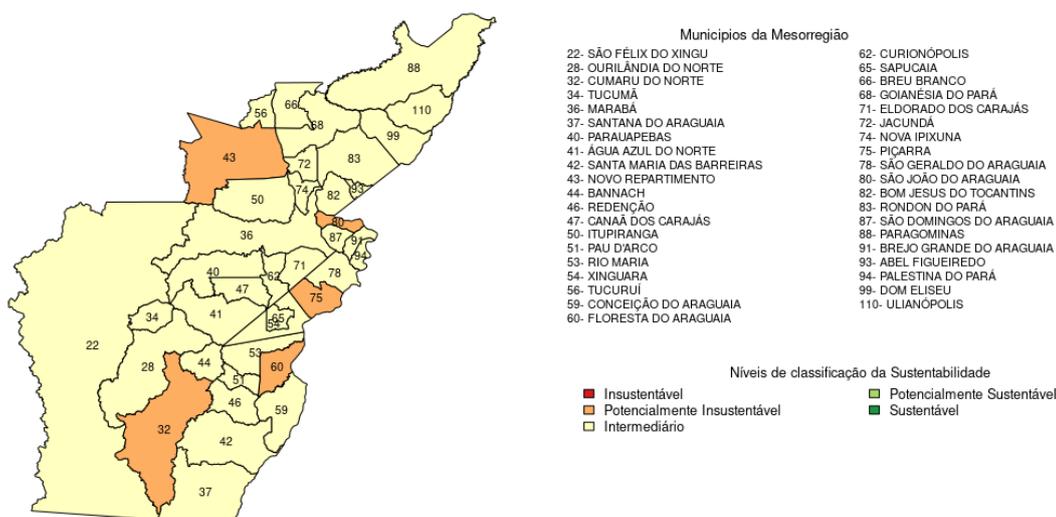
e técnicas que certamente subsidiarão importantes decisões (ENGENHARIA, 2015). Deste modo, demonstrando esforço da administração local em tomar decisões baseadas em dados para elaboração de projetos de longo prazo.

Ainda em relação a variável T_LIXO os municípios com melhores desempenhos foram Canaã dos Carajás (<93,6>), Parauapebas (<93,2>) e Breu Branco (<92,4>), acumulando índices superiores à capital do Estado. Os mais vulneráveis nesse quesito são os municípios de Eldorado dos Carajás (<15,4>) e Floresta do Araguaia (<15,75>).

Na dimensão social a região apresenta desempenho Intermediário (<47,7>). Dos 39 municípios, apenas 05 foram classificados como Potencialmente Insustentável, enquanto os outros 34 tiveram desempenho Intermediário. Em relação as variáveis da dimensão social 03 delas tiveram desempenho médio Intermediário, enquanto apenas T_ANALF15M e T_ENV obtiveram desempenho médio Potencialmente Insustentável.

Em relação a variável T_ENV 09 municípios tiveram desempenho Insustentável, entre eles Parauapebas, Paragominas e Canaã dos Carajás. A situação do envelhecimento humano e a alteração da pirâmide etária é um ponto de atenção que já deve preocupar os gestores públicos para uma dinâmica social de maior atenção à saúde e à previdência social já que estudos estimam que até 2040 haverá 153 idosos para cada 100 jovens, cenário bem diferente do retratado pelo Censo de 2010, em que a proporção era de 39 idosos para cada 100 (MIRANDA; MENDES; SILVA, 2016). Felizmente, os municípios da região do Carajás já demonstram estar atentos ao problema, tendo iniciado debates e audiências públicas sobre o assunto (PARAUAPEBAS, 2022).

Figura 37 – Mapa temático da mesorregião do Sudeste classificado por nível de Sustentabilidade na dimensão Social.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Em relação a variável T_ANALF15M, 14 municípios obtiveram classificação Insustentável.

Os municípios de Cumaru do Norte e São João do Araguaia obtiveram os menores desempenhos (<18,8>). De acordo com [FAPESPA \(2023\)](#) as taxas de analfabetismo em Cumaru do Norte tiveram uma piora de 2000 para 2010, saindo de 22,9% para 25,2%, em que constata-se a população mais afetada ser aquela que pertence ao grupo de idade de 25 a 29 anos. Acredita-se que o índice seja decorrente do baixo nível de urbanização do município, que de acordo com o [IBGE \(2023\)](#) contava com apenas 2,3% do seu território urbanizado e tinha aproximadamente 74% da população residindo em área rural ([MPPA, 2023](#)). A isso, soma-se o fato de ter aproximadamente 62% da população abaixo da linha da pobreza. É necessário que o poder público gere incentivos sociais para a participação de todos os grupos de idade, seja pela promoção de programas de educação no campo, oferta de merenda e transporte escolar de qualidade ou até mesmo auxílio financeiro para estudantes.

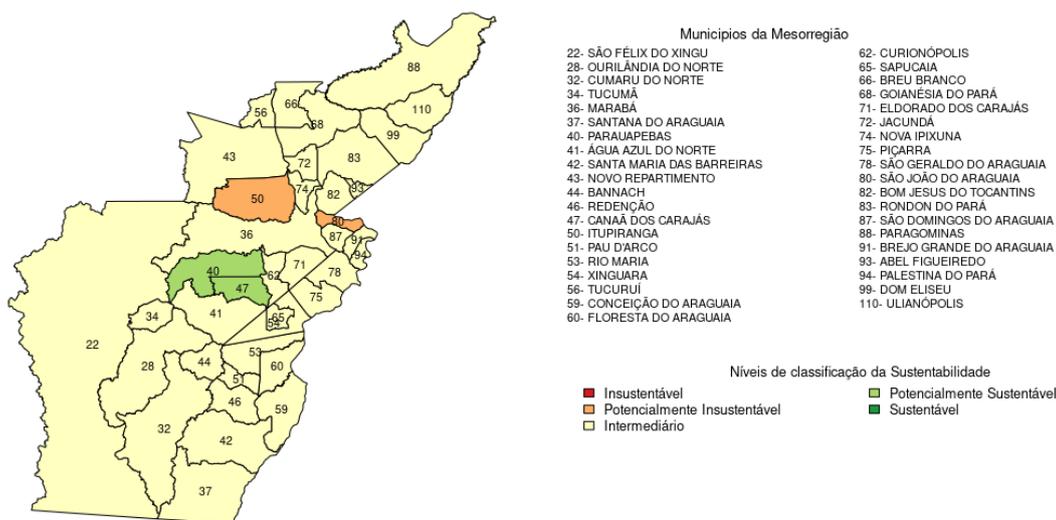
Na dimensão econômica a região obteve desempenho Intermediário aferindo **BS** de <49,5>. Os municípios ficaram assim distribuídos em relação aos níveis de sustentabilidade: dois classificados como Potencialmente Insustentável, 35 classificados como Intermediário e 02 foram classificados como Potencialmente Sustentável. A dimensão econômica é avaliada por 11 variáveis, sendo 05 classificadas como Potencialmente Insustentável, 03 classificadas com nível Intermediário e outras 03 classificadas como Potencialmente Sustentável.

As variáveis que exigem mais atenção para a dimensão econômica regional são **REN_PIBPC_D** (PIB *per capita*) e **P_FORMAL** (grau de formalização do trabalho), com **BS** médio de <33,4> e <33,6>, respectivamente. É sabido que a região do sudeste paraense se destacou muito em função das mudanças na composição de sua base produtiva influenciada pelo processo de ocupação que se intensificou após a década de 60 ([SANTOS, 2017](#)). A expansão das atividades pecuárias e as oportunidades de exploração minerais somadas aos investimentos públicos na região com a criação da Usina Hidrelétrica de Tucuruí e abertura de importantes rodovias contribuíram para que a região fosse responsável por, aproximadamente, 50% do **PIB** do Estado nas atividades da Indústria, e, 41% de participação no setor de serviços ([SANTOS, 2017](#)). Por outro lado, o desenvolvimento orientado unicamente ao desempenho econômico levou a região à diversos prejuízos humanos, conhecidos nacionalmente e internacionalmente, como o emblemático caso de Serra Pelada e vários outros conflitos agrários ([VEIGA; SILVA; HINTON, 2002](#); [LIBERAL, 2017](#)). O **PIB per capita** da região é o maior do Estado, no entanto, está concentrado nos municípios de Parauapebas, Canaã dos Carajás e Tucuruí ([SANTOS, 2017](#)).

A variável **P_FORMAL** captura o nível de formalização das ocupações, sendo desejável ocupações formais pela garantia de mais condições de segurança ao trabalhador. Com destaque para o município de Parauapebas (<61>), único município em condição Potencialmente Sustentável. Seguido por Ulianópolis (<58>) e Sapucaia (<50,2>), que ficaram a frente de municípios com atividade industrial mais pujante, como Tucuruí (<48,4>), Marabá (<47,8>) ou mesmo Canaã dos Carajás (<46,7>). Foram classificados como Insustentáveis na variável **P_FORMAL** os municípios de São João do Araguaia (<17,2>), Novo Repartimento (<17,3>), Itupiranga (<18,6>), Santa Ma-

ria das Barreiras (<19>) e Nova Ipixuna (<19,1>). Foi verificado forte correlação positiva entre a variável P_FORMAL e as variáveis RENOCUP (Rendimento médio dos ocupados) e REN_PIBPC_D (PIB Bruto *Per Capita*), indicando que a formalização da ocupação pode ser um caminho viável a ser incentivado para melhoria das condições de renda e aumento da produtividade.

Figura 38 – Mapa temático da mesorregião do Sudeste classificado por nível de Sustentabilidade na dimensão Econômica.



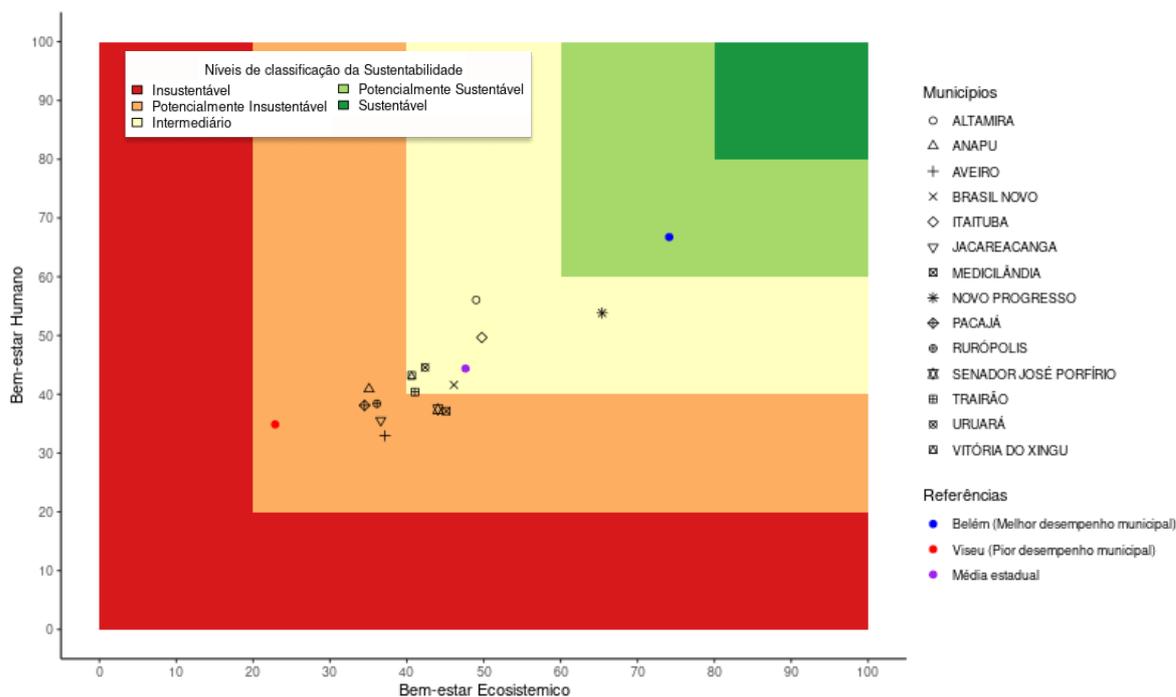
Fonte: Elaborado pelo autor.

Santos (2017) explica que o mercado de trabalho da região foi muito afetado pela política de mobilização de pessoas de outras partes do Brasil. Fazem parte do cenário da economia e empregos na região a atuação de grandes empreendimentos, sobretudo da indústria extrativista mineral, agropecuária patronal e agropecuária familiar. O setor de prestação de serviços e de produtos agrícolas também cresceu com esse arranjo. Ao analisar a variável CPR (Pessoal ocupado de 18 anos ou mais que trabalham por conta própria) é possível perceber que de fato, há uma grande informalidade no mercado de trabalho da região.

6.1.6 Análise por região - Mesorregião do Sudoeste Paraense.

A região Sudoeste Paraense é composta por 14 municípios. Na análise regional da sustentabilidade obteve um BS de <42,4> situando a região em condição Intermediária. Em relação ao desempenho municipal ilustrado na Figura 39, no eixo humano 06 municípios classificados como Potencialmente Insustentável e 08 classificados como Intermediário. Já no eixo de bem-estar ecossistêmico, 05 classificados como Potencialmente Insustentável, 08 como Intermediário, e apenas 01 classificado como Potencialmente Sustentável.

Figura 39 – Gráfico do BS para a Região do Sudoeste Paraense.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na dimensão ambiental (Figura 40) a região obteve desempenho de <43,1>. Nesta dimensão, cinco municípios foram classificados como Potencialmente Insustentável, sendo eles: Pacajá com BS de <34,49>, seguido por Anapu (<35>), Rurópolis (<36,1>), Jacareacanga (<36,6>) e Aveiro (<37,1>). O único município classificado como Potencialmente Sustentável foi Novo Progresso. Em relação as variáveis analisadas na dimensão ambiental, a região obteve 01 variável com BS médio Insustentável, sendo T_BANAGUA com BS de <13,3>, 01 variável classificada como Potencialmente Insustentável, sendo o P_FOCOS com BS de <25,2>, 03 variáveis classificadas como Intermediárias, e 01 variável (P_FLORA) classificada como Potencialmente Sustentável.

Já se verificou que a variável T_BANAGUA está relacionada com a proporção de urbanização do município, como também com a porção de habitantes que ocupam regiões rurais. O modo de vida no campo nem sempre é sustentável, tendo em vista que as pessoas precisam fazer uso de cacimbas, rios e poços — nem sempre bem condicionadas para consumo, banho e outras atividades. Além disso, a falta de coleta de lixo em áreas rurais associada ao modo como sanitários são esgotados muitas vezes são prejudiciais para a natureza e para a qualidade de vida das pessoas que ali vivem. De acordo com IBGE Notícias (2020), aproximadamente 9 milhões de domicílios no Brasil despejam dejetos de maneira inadequada, como em fossa rudimentar, vala, rios, lagos e mar, expondo a risco de contaminação tanto ecossistemas aquáticos quanto terrestres.

Figura 40 – Mapa temático da mesorregião do Sudoeste classificado por nível de Sustentabilidade na dimensão Ambiental.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A variável PFOCOS demonstra a situação de supressão de vegetação nativa pelo uso do fogo, apesar de ainda existirem várias áreas protegidas na região, com a presença da população indígena que ajuda a manter a variável P_FLORA em situação positiva. Vale destacar que os municípios da região já foram beneficiários de projetos para redução e controle do desmatamento (CARDOSO; TOLEDO; VIEIRA, 2016; VALE et al., 2020). Os municípios de Rurópolis, Trairão, Anapu, Medicilândia, Pacajá, Uruará e Jacareacanga, bem como outros municípios cruzados pela BR-163 são regiões de influência do Arco do desmatamento, que se ampliou desde 2019 (OVIEDO; LIMA; AUGUSTO, 2021).

Em relação a dimensão social (Figura 41) o desempenho foi de <41,3> classificando-se em nível Intermediário. Os municípios ficaram assim distribuídos: 08 municípios no nível Potencialmente Insustentável, enquanto outros 06 foram classificados como Intermediários. Já em relação as variáveis da dimensão social, 02 foram classificadas como Potencialmente Insustentável (T_ANALF15M e T_ENV) e outras 03 foram classificadas como Intermediárias.

Figura 41 – Mapa temático da mesorregião do Sudoeste classificado por nível de Sustentabilidade na dimensão Social.

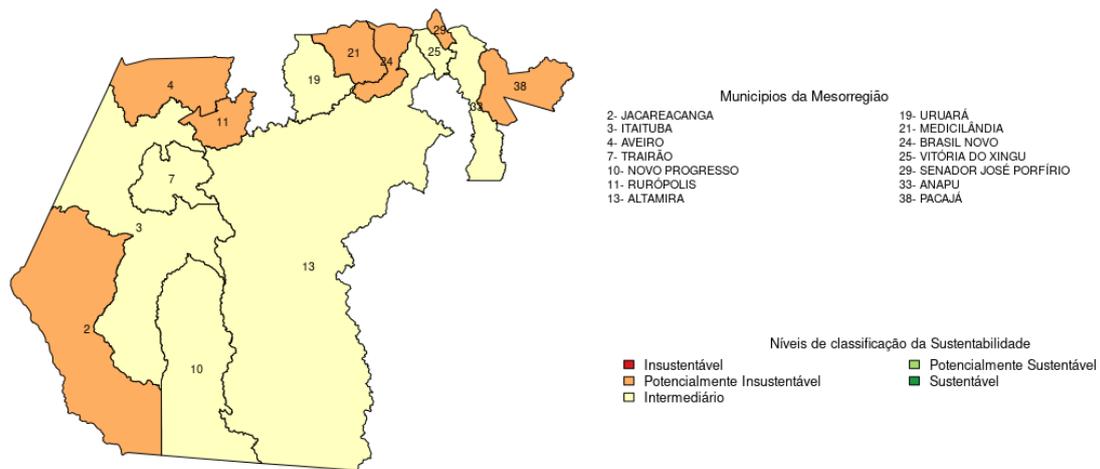


Fonte: Elaborado pelo autor.

O município de Jacareacanga atingiu nível Insustentável nas variáveis T_ENV (<14,7>), T_ANALF15M (<18,2>) e T_AGUA (<19,5>). Outro município que registrou níveis Insustentáveis em mais de uma variável foi Aveiro que aferiu **BS** de <19,1> em T_AGUA e **BS** de <19,9> para POP_URB. O município de Jacareacanga faz fronteira com os estados de Mato Grosso e Amazonas e é uma das localidades mais distantes da capital. A partir dos resultados, podemos inferir que a distância em relação a capital influencia negativamente a localidade por conta de vários fatores, como ausência de **PP** e pela ausência do Estado na fiscalização — como também observado em municípios do Marajó. De modo complementar, no ano de 2020, várias comunidades, sobretudo localizadas em áreas de reserva se viram encurraladas em episódios de violência que agravaram a situação ambiental e social (MARQUES, 2021). Infelizmente, as atividades de garimpo ilegal e ampliação dos grandes latifúndios estão ampliando as desigualdades sociais e gerando insegurança para as populações mais distantes do poder público, principalmente nas regiões mais remotas do Estado do Pará.

Na dimensão econômica o desempenho foi de <43> se classificando como nível Intermediário. Conforme a Figura 41, 07 municípios foram classificados como Potencialmente Insustentável e outros 07 foram classificados no nível Intermediário. Ao analisar o desempenho médio do **BS** por variável, tem-se que das 11 variáveis que compõem a dimensão econômica, 05 delas tiveram desempenho Potencialmente Insustentável, 05 obtiveram classificação Intermediário, e, apenas 01 foi classificada como Potencialmente Sustentável.

Figura 42 – Mapa temático da mesorregião do Sudoeste classificado por nível de Sustentabilidade na dimensão Econômica.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Entre as variáveis com piores desempenhos destacam-se P_FORMAL com BS de <20,3>, REN_PIBPC_D (<28,4>), P_SIUP (<30,5>), THEIL (<31,2>) e Gini (<33,8>). Como foi discutido em relação a região sudeste, a região sudoeste também teve seu processo de ocupação desordenado, fortemente caracterizado pelo incentivo à imigração e baixa valorização das comunidades locais. O incentivo estatal durou pouco tempo deixando os imigrantes à míngua, com obras paradas e inúmeros conflitos entre os imigrantes, militares e nativos (CONGLIO; IKEDA, 2014). As variáveis demonstram que o resultado das atividades de mineração e pecuária extensiva resultaram em uma baixa formalização dos postos de trabalho (P_FORMAL), baixa renda (REN_PIBPC_D) e níveis alarmantes de desigualdade social resultantes da concentração de renda e de terras (THEIL e Gini).

7 Conclusão

O trabalho demonstrou que é possível desenvolver uma ferramenta que forneça um nível satisfatório de automatização das atividades de aquisição, tratamento, processamento e análise de dados de sustentabilidade de todos os municípios de um Estado Brasileiro. Os recursos de *software* desenvolvidos visam facilitar o processo de coleta, transformação e cálculo do Barômetro da Sustentabilidade, tendo em vista ser a ferramenta de monitoramento do desenvolvimento sustentável mais tradicional no estado do Pará como demonstrado no processo de revisão da literatura. O processo de carregamento e transformação foi automatizado em linguagem GNU R para lidar com dados de diferentes fontes ([IBGE](#), [PNUD](#), [DATASUS](#), [INPE](#) e [INEP](#)) tornando-os disponíveis em *datasets* visando fornecer dados de maior qualidade para geração do indicador e de outros instrumentos de análise, como tabelas, gráficos e mapas.

O processo de tratamento incluiu recursos de limpeza e compatibilização, essenciais para síntese de indicadores e análises consistentes e confiáveis. Nessa etapa do processo, incluímos a compatibilização através da técnica de Área Mínima de Comparação ([AMC](#)), de modo a agregar territórios desmembrados quando houverem divergências temporais nas variáveis utilizadas. Além disso, foi incluída a possibilidade de realizar a seleção de características pelo ranqueamento das variáveis que mais contribuem para o valor do Barômetro da Sustentabilidade provendo uma alternativa computacional para reduzir a subjetividade na escolha das variáveis.

Como resultado do estudo de caso, os dados apontam que os índices de sustentabilidade ainda estão abaixo do esperado, o que gera a necessidade de mais investimento na proteção da floresta em pé e de modais de indústrias cuja operação seja menos dependente de recursos não renováveis. A matriz econômica do Estado ainda é muito dependente da indústria extrativista, sobretudo mineral, que gera impacto positivo, principalmente, nos municípios que sediam as empresas. Enquanto, os municípios no entorno desses empreendimentos acumulam prejuízos sociais e ambientais que ultrapassarão os limites de concessão de exploração que terão de lidar com as externalidades consequentes. É preciso que existam incentivos para atividades ligadas a bioeconomia, mecanismos de desenvolvimento limpo e ao turismo sustentável.

A aplicação do Barômetro da Sustentabilidade de maneira ampla, conduzida no presente estudo, permitiu estabelecer conexões entre o processo de ocupação do território e nível de desenvolvimento regional. Além de constatar também a influência de regiões metropolitanas e as consequências da concentração de investimentos públicos, sobretudo em infraestrutura, que acentuam desigualdades e levam à práticas insustentáveis de desenvolvimento. A mesorregião Metropolitana de Belém tem o maior índice de sustentabilidade devendo servir de modelo regional. A Região do Marajó precisa de um intenso investimento em educação pública de qualidade e um projeto de democratização do ensino e alfabetização de jovens adultos, possibilitando

associar esse projeto à políticas públicas econômicas como bolsa ensino/escola para jovens e adultos permanecerem em ambientes escolares. Assim como as demais regiões também devem ser beneficiadas por um programa/política pública que desenvolva com equidade as regional.

Os resultados também apontam os itens cuidado com a água, infraestrutura de saneamento e concentração de renda como os mais críticos no Estado do Pará para melhoria da sustentabilidade, os quais estão ausentes na maioria das cidades que foram classificadas com baixo índice de sustentabilidade, gerando a demanda de investimento prático para mudança do cenário atual.

Pode-se observar que os maiores problemas sociais e ambientais presentes na maioria dos municípios Paraenses estão relacionados ao desenvolvimento urbano desordenado. O que foi demonstrado pelo índice Insustentável da variável que monitora o percentual da população que vive em domicílios com banheiro e água encanada adequados. A letargia do poder público em desenvolver a gestão territorial por meio macrozoneamento territorial, plano diretor, política de resíduos sólidos etc., bem como, a ausência do poder público em praticar e fiscalizar tais instrumentos inibem a capacidade de desenvolvimento sustentável, à medida que normaliza "invasões" e ocupações inadequadas de famílias, sem serviços públicos básicos como infraestrutura de esgotamento sanitário, água encanada e tratada, escolas na proximidade etc.

Além disso, ainda é necessário aprimorar os indicadores e variáveis de monitoramento da sustentabilidade da dimensão ambiental, seja pela inclusão de novos indicadores como também pela melhor ponderação. Pois, é notório que poucos municípios paraenses dão atenção necessária para os resíduos sólidos, a maioria dos municípios ainda fazem uso de lixões, que além de liberarem CH_4 , gás que apresenta um potencial 21 vezes mais danoso para o aquecimento global que o Dióxido de Carbono, ainda contamina o solo, lençóis freáticos, afeta paisagens e afeta a saúde das pessoas com outras pestes e vetores de doenças.

Sobre o aspecto social que envolve a aplicação da Política Nacional de Resíduos Sólidos, são necessárias ações objetivas para o desenvolvimento de sistemas de organização social capazes de humanizar, qualificar e dignificar profissionais que trabalham com os resíduos sólidos, sejam empresas ou organizações sociais como cooperativas ou associações.

Destaca-se também o desempenho positivo dos municípios nas variáveis PINTERDSAI (Percentual de Internações por doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado) e PFLORA (Cobertura vegetal natural), que salvo as exceções que foram destacadas nas análises regionais, demonstraram bom desempenho.

Observa-se que há uma capacidade ambiental para absorver alguns problemas decorrentes da falta de infraestrutura sanitária em habitações e comunidades que carecem de boas condições. Portanto, mesmo que não existam recursos financeiros para prover a infraestrutura necessária de saneamento básico, é necessário um esforço de conscientização e educação para que as comunidades tenham cuidado com rios e mananciais evitando assim a contaminação. Além disso,

a prática de realizar estudos no sentido de quantificar e monitorar a qualidade de mananciais, com vistas à criar novas áreas de proteção ou contratação de serviços ambientais especializados para sua manutenção tem se mostrado como estratégia exitosa.

A cobertura vegetal natural é um ponto delicado para o desenvolvimento no Estado do Pará. Por um lado, o Bioma Amazônico é composto por florestas exuberantes a perder de vista, com várias reservas, áreas de proteção etc. Por outro lado, vários setores veem como desperdício, madeiras nobres, áreas com potencial para mineração ou atividade pecuária. Por isso, é fundamental o avanço da legislação para capitalizar o desenvolvimento sustentável, demonstrando que a floresta em pé é capaz de gerar riqueza.

No que diz respeito ao combate e repressão dos crimes ambientais, é válido notar que variáveis institucionais úteis podem ser incluídas, como por exemplo a quantidade de ações civis públicas, tendo em vista que é uma importante métrica de atividade contra esse tipo de crime. Os crimes ambientais são enfrentados pela via da ação penal, que além de ser mais lenta, é mais fraca no combate à degradação ambiental quando se trata de dosimetria das penas e dispõe de poucos instrumentos de correção em comparação com o direito civil, bem mais articulado e eficiente.

A literatura também demonstra que planos setoriais de mitigação de danos e perdas ambientais realizados no Brasil tiveram grande impacto no Pará como o Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (**PPCDAM**), tiveram um impacto positivo, no entanto, ainda é necessário investigar com mais atenção os resultados alcançados por outros programas como Plano Decenal de Energia, Plano de Agricultura de Baixo Carbono, Plano setorial da saúde para mitigação e adaptação à mudança climática, plano de redução de emissões da siderurgia, plano setorial de mitigação da mudança climática para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na indústria de transformação, plano de mineração de baixa emissão de carbono, plano setorial de transporte e de mobilidade urbana para mitigação da mudança do clima, RED++¹. Nesse sentido, percebe-se que vários governos ainda não estão preparados para lidar com desafios do desenvolvimento, menos ainda resolver os problemas ambientais locais ou globais, a solução para isso seria a descentralização maior da capacidade de investimento do Estado ou desenvolver formas mais eficientes de gestão que amplie a participação dos governos locais, em todo o caso, a alternativa passa por priorizar a participação das populações que vivenciam os problemas e empodera-las para lidar com os desafios em primeira linha.

É possível concluir que o principal desafio paraense é ambiental, na forma de percentual da população que vive em domicílios sem banheiro e água encanada que seguem as normas de saneamento, o que impacta nos rios, qualidade da água, economia e saúde pública. O mesmo

¹ REDD+ é um incentivo desenvolvido no âmbito da **UNFCCC** para recompensar financeiramente países em desenvolvimento por seus resultados de **Redução de Emissões** de gases de efeito estufa provenientes do **Desmatamento** e da **Degradação florestal**, considerando o papel da conservação de estoques de carbono florestal, manejo sustentável de florestas e aumento de estoques de carbono florestal (+).

parâmetro também revela um problema social à medida que atesta condições de moradia precárias em vários domicílios. Na área econômica, é possível concluir que os principais desafios dizem respeito à alta concentração de renda (inclusive nas cidades com os melhores desempenhos no BS), e, ao grau de qualificação do trabalhador, que por sua vez resulta em baixos salários e precarização dos postos de trabalho. Essa última, tem sido combatida de forma tímida pelo governo a partir de programas de universalização do ensino superior, por exemplo, o Forma Pará. Entretanto, o Estado ainda ocupa a penúltima posição no ranking de habitantes com ensino superior, estando a grande maioria concentrados na região metropolitana. Por fim, na dimensão social a taxa de analfabetismo da população de 15 anos deve ser uma fonte de preocupação para gestores municipais de quase todos os municípios — 123 territórios apresentaram índices Insustentável ou Potencialmente Insustentável. Esses são os aspectos que exigem medidas urgentes do poder público.

Vale ressaltar que foi na dimensão econômica onde uma maior quantidade de municípios demonstraram baixo desempenho. Tal aspecto exerce influência direta nas demais dimensões, visto que a falta de boas condições financeiras das famílias tendem a gerar riscos de várias ordens (pessoal, familiar, comunitário etc.), por exemplo, impactando no aumento de pessoas ocupadas em atividades ilegais (como o desmatamento, mineração clandestina, tráfico de entorpecentes, furtos etc) e consequente aumento dos índices de criminalidade.

Diante das observações realizadas, frente ao arranjo de dados utilizados para geração do Barômetro da Sustentabilidade, é necessário que gestores e líderes comunitários discutam meios de aprimorar suas práticas rumo ao desenvolvimento sustentável. Um caminho viável, através de uma agenda global de desenvolvimento, é orientar os planos distritais, municipais e estaduais aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável e a Agenda 2030.

7.1 Trabalhos Futuros

Seria possível enriquecer a análise dos municípios paraenses com a dimensão institucional utilizando dados da Pesquisa de Informações Básicas Municipais do IBGE, que entre outras coisas, dá detalhes importantes sobre a atuação e a característica dos gestores públicos, instrumentos de planejamento urbano e projetos ativos. Observou-se durante a pesquisa, que aspectos ligados ao macrozoneamento territorial e plano diretor são instrumentos essenciais para o desenvolvimento sustentável, nesse sentido, seria muito importante incluir variáveis que capturem tais aspectos.

Vale investigar algumas correlações que existem entre algumas variáveis com a finalidade de aumentar a compreensão dos fenômenos envolvidos. Por exemplo, as razões dos elevados índices de mortalidade antes de se tornar idoso, fazendo cruzamento das informações com o BS e verificando se há correlações com a saúde pública, meio ambiente e acesso à educação.

Ações de repressão de crimes ambientais também são importantes instrumentos para

quantificar a capacidade institucional. Nesse sentido, considera-se importante incluir dados de ações judiciais por município, número de infrações ambientais e outras ações que visem garantia de justiça social e ambiental. Ou ainda, quantificar medidas de mitigação e adaptação locais em relação às agendas de mudanças climáticas.

Espera-se ainda utilizar a ferramenta desenvolvida para criar painéis interativos, com funcionalidades dinâmicas de geração de relatórios, retabulação de dados, geração de mapas temáticos e gráficos de sustentabilidade por município. Agregando técnicas de inteligência artificial, visualização de dados e *Business Intelligence*.

Por fim, seria ideal criar um *Data lake* com as principais bases de dados para avaliação da sustentabilidade. De modo a facilitar as pesquisas e desenvolvimento de outros trabalhos.

A APÊNDICE I

A.1 Resultados tabulares dos municípios paraenses

Tabela 16 – Classificação municipal do Estado do Pará

Município	Região	Dimensões			Indicador sintético	Nível de sustentabilidade
		Ambiental	Econômica	Social		
ABAETETUBA	Nordeste Paraense	49.79	45.89	43.49	46.39	Intermediário
ABEL FIGUEIREDO	Sudeste Paraense	53.91	46.19	58.24	52.78	Intermediário
ACARÁ	Nordeste Paraense	38.17	42.62	32.78	37.86	Potencialmente Insustentável
AFUÁ	Marajó	48.83	34.15	29.04	37.34	Potencialmente Insustentável
ÁGUA AZUL DO NORTE	Sudeste Paraense	48.47	53.5	42.2	48.05	Intermediário
ALENQUER	Baixo Amazonas	36.2	35.1	46.71	39.34	Potencialmente Insustentável
ALMEIRIM	Baixo Amazonas	50.84	49.71	45.01	48.52	Intermediário
ALTAMIRA	Sudoeste Paraense	49.01	57.03	55.1	53.71	Intermediário
ANAJÁS	Marajó	55.21	37.6	29.24	40.68	Intermediário
ANANINDEUA	Metropolitana de Belém	73	59.24	67.04	66.42	Potencialmente Sustentável
ANAPU	Sudoeste Paraense	35.08	42.84	38.94	38.95	Potencialmente Insustentável
AUGUSTO CORRÊA	Nordeste Paraense	33.18	26.56	42.5	34.08	Potencialmente Insustentável
AURORA DO PARÁ	Nordeste Paraense	36.97	41.01	39.57	39.18	Potencialmente Insustentável
AVEIRO	Sudoeste Paraense	37.15	30.44	35.43	34.34	Potencialmente Insustentável

Continua ...

Município	Região	Ambiental	Econômica	Social	BS	Nível de sustentabilidade
BAGRE	Marajó	51.72	36.23	30.17	39.37	Potencialmente Insustentável
BAIÃO	Nordeste Paraense	40.74	38.1	43.57	40.8	Intermediário
BANNACH	Sudeste Paraense	44.52	41.24	44.46	43.41	Intermediário
BARCARENA	Metropolitana de Belém	63.88	59.49	42.62	55.33	Intermediário
BELÉM	Metropolitana de Belém	74.13	57.29	76.22	69.21	Potencialmente Sustentável
BELTERRA	Baixo Amazonas	39.08	44.9	44.68	42.89	Intermediário
BENEVIDES	Metropolitana de Belém	72.04	59.66	56.92	62.87	Potencialmente Sustentável
BOM JESUS DO TOCANTINS	Sudeste Paraense	46.14	50.21	47.4	47.92	Intermediário
BONITO	Nordeste Paraense	48.11	43.62	41.04	44.26	Intermediário
BRAGANÇA	Nordeste Paraense	40.11	40.33	45.16	41.87	Intermediário
BRASIL NOVO	Sudoeste Paraense	46.13	37.46	45.75	43.11	Intermediário
BREJO GRANDE DO ARAGUAIA	Sudeste Paraense	32.91	41.08	51.86	41.95	Intermediário
BREU BRANCO	Sudeste Paraense	44.7	45.71	43.89	44.77	Intermediário
BREVES	Marajó	49.2	38.23	36.01	41.15	Intermediário
BUJARU	Metropolitana de Belém	31.46	34.92	39.21	35.2	Potencialmente Insustentável
CACHOEIRA DO ARARI	Marajó	44.62	35.22	43.38	41.08	Intermediário
CACHOEIRA DO PIRIÁ	Nordeste Paraense	36.98	31.17	26.89	31.68	Potencialmente Insustentável

Continua ...

Município	Região	Ambiental	Econômica	Social	BS	Nível de sustentabilidade
CAMETÁ	Nordeste Paraense	43.39	37.01	41.14	40.52	Intermediário
CANAÃ DOS CARAJÁS	Sudeste Paraense	69.08	61.72	52.95	61.25	Potencialmente Sustentável
CAPANEMA	Nordeste Paraense	60.48	51.04	59.1	56.87	Intermediário
CAPITÃO POÇO	Nordeste Paraense	41.84	33.2	43.54	39.53	Potencialmente Insustentável
CASTANHAL	Metropolitana de Belém	63.78	58.08	62.96	61.61	Potencialmente Sustentável
CHAVES	Marajó	38.9	31.31	27.63	32.61	Potencialmente Insustentável
COLARES	Nordeste Paraense	56.68	31.69	52.76	47.04	Intermediário
CONCEIÇÃO DO ARA- GUAIA	Sudeste Paraense	50.82	49.12	57.03	52.32	Intermediário
CONCÓRDIA DO PARÁ	Nordeste Paraense	42.63	42.87	43.13	42.88	Intermediário
CUMARU DO NORTE	Sudeste Paraense	44.53	47.84	31.91	41.43	Intermediário
CURIONÓPOLIS	Sudeste Paraense	38.88	47.89	49.35	45.37	Intermediário
CURRALINHO	Marajó	40.15	33.41	31.52	35.03	Potencialmente Insustentável
CURUÁ	Baixo Amazonas	36.83	36.51	43	38.78	Potencialmente Insustentável
CURUÇÁ	Nordeste Paraense	60.23	36.21	54.56	50.34	Intermediário
DOM ELISEU	Sudeste Paraense	34.41	55.96	42.03	44.13	Intermediário
ELDORADO DOS CARAJÁS	Sudeste Paraense	27.92	45.43	45.96	39.77	Potencialmente Insustentável
FARO	Baixo Amazonas	42.48	40.95	51.68	45.04	Intermediário

Continua ...

Município	Região	Ambiental	Econômica	Social	BS	Nível de sustentabilidade
FLORESTA DO ARAGUAIA	Sudeste Paraense	31.64	42.98	38.49	37.7	Potencialmente Insustentável
GARRAÇÃO DO NORTE	Nordeste Paraense	28.96	32.97	39	33.64	Potencialmente Insustentável
GOIANÉSIA DO PARÁ	Sudeste Paraense	39.27	52.3	41.66	44.41	Intermediário
GURUPÁ	Marajó	53.6	37.17	31.98	40.92	Intermediário
IGARAPÉ-AÇU	Nordeste Paraense	54.69	45.03	51.71	50.48	Intermediário
IGARAPÉ-MIRI	Nordeste Paraense	46.11	41.57	37.63	41.77	Intermediário
INHANGAPI	Metropolitana de Belém	54.29	44.44	40.16	46.3	Intermediário
IPIXUNA DO PARÁ	Nordeste Paraense	38.67	46.86	29.66	38.4	Potencialmente Insustentável
IRITUIA	Nordeste Paraense	38.55	38.47	41.42	39.48	Potencialmente Insustentável
ITAITUBA	Sudoeste Paraense	49.75	47.78	51.56	49.7	Intermediário
ITUPIRANGA	Sudeste Paraense	33.59	38.81	40.46	37.62	Potencialmente Insustentável
JACAREACANGA	Sudoeste Paraense	36.6	39.9	31.23	35.91	Potencialmente Insustentável
JACUNDÁ	Sudeste Paraense	45.11	51.08	54.68	50.29	Intermediário
JURUTI	Baixo Amazonas	53.23	42.22	38.62	44.69	Intermediário
LIMOEIRO DO AJURU	Nordeste Paraense	49.91	32.08	31.43	37.81	Potencialmente Insustentável
MÃE DO RIO	Nordeste Paraense	47	45.86	55.56	49.48	Intermediário
MAGALHÃES BARATA	Nordeste Paraense	64.47	39.93	59.6	54.67	Intermediário
MARABÁ	Sudeste Paraense	51.12	58.32	53.47	54.3	Intermediário

Continua ...

Município	Região	Ambiental	Econômica	Social	BS	Nível de sustentabilidade
MARACANÃ	Nordeste Paraense	45.08	28.43	50.63	41.38	Intermediário
MARAPANIM	Nordeste Paraense	61.73	37.98	55.62	51.78	Intermediário
MARITUBA	Metropolitana de Belém	70.03	59.63	60.03	63.23	Potencialmente Sustentável
MEDICILÂNDIA	Sudoeste Paraense	45.13	37.08	37.23	39.81	Potencialmente Insustentável
MELGAÇO	Marajó	44.05	36.27	23.81	34.71	Potencialmente Insustentável
MOCAJUBA	Nordeste Paraense	51.12	40.42	48.94	46.83	Intermediário
MOJU	Nordeste Paraense	41.04	37.11	38.5	38.88	Potencialmente Insustentável
MONTE ALEGRE	Baixo Amazonas	37.27	40.77	47.12	41.72	Intermediário
MUANÁ	Marajó	49.51	41.91	37.53	42.98	Intermediário
NOVA ESPERANÇA DO PIRIÁ	Nordeste Paraense	35.59	37.64	34.87	36.03	Potencialmente Insustentável
NOVA XUNA	Sudeste Paraense	51.84	40.33	46.11	46.09	Intermediário
NOVA TIMBOTEUA	Nordeste Paraense	58.77	39.41	51.97	50.05	Intermediário
NOVO PROGRESSO	Sudoeste Paraense	65.4	54.03	53.62	57.69	Intermediário
NOVO REPARTIMENTO	Sudeste Paraense	39.83	41.68	37	39.5	Potencialmente Insustentável
ÓBIDOS	Baixo Amazonas	35.83	37.73	43.8	39.12	Potencialmente Insustentável
OEIRAS DO PARÁ	Nordeste Paraense	43.01	33.99	34.61	37.21	Potencialmente Insustentável
ORIXIMINÁ	Baixo Amazonas	43.3	45.24	43.5	44.01	Intermediário
OURÉM	Nordeste Paraense	51.35	36.81	46.87	45.01	Intermediário

Continua ...

Município	Região	Ambiental	Econômica	Social	BS	Nível de sustentabilidade
OURILÂNDIA DO NORTE	Sudeste Paraense	52.8	50.58	50.78	51.39	Intermediário
PACAJÁ	Sudoeste Paraense	34.5	39.06	37.16	36.91	Potencialmente Insustentável
PALESTINA DO PARÁ	Sudeste Paraense	29.96	41.36	50.64	40.65	Intermediário
PARAGOMINAS	Sudeste Paraense	59.93	55.68	51.09	55.57	Intermediário
PARAUPEBAS	Sudeste Paraense	77.19	64.38	55.44	65.67	Potencialmente Sustentável
PAU D'ARCO	Sudeste Paraense	39.76	46.54	43.25	43.18	Intermediário
PEIXE-BOI	Nordeste Paraense	53.86	41.33	53.64	49.61	Intermediário
PIÇARRA	Sudeste Paraense	38.05	47.39	39.88	41.77	Intermediário
PLACAS	Baixo Amazonas	31.94	36.5	31.02	33.15	Potencialmente Insustentável
PONTA DE PEDRAS	Marajó	38.39	34.23	40.18	37.6	Potencialmente Insustentável
PORTEL	Marajó	47.99	39.5	32.5	39.99	Potencialmente Insustentável
PORTO DE MOZ	Baixo Amazonas	36.01	33.95	31.24	33.73	Potencialmente Insustentável
PRAINHA	Baixo Amazonas	36.03	34.8	33.68	34.84	Potencialmente Insustentável
PRIMAVERA	Nordeste Paraense	59.37	35.73	57.48	50.86	Intermediário
QUATIPURU	Nordeste Paraense	59.29	29.73	43.11	44.04	Intermediário
REDENÇÃO	Sudeste Paraense	45.87	55.21	58.13	53.07	Intermediário
RIO MARIA	Sudeste Paraense	41.25	56.85	56.76	51.62	Intermediário
RONDON DO PARÁ	Sudeste Paraense	46.02	51.01	48.67	48.57	Intermediário

Continua ...

Município	Região	Ambiental	Econômica	Social	BS	Nível de sustentabilidade
RURÓPOLIS	Sudoeste Paraense	36.1	38.87	37.93	37.64	Potencialmente Insustentável
SALINÓPOLIS	Nordeste Paraense	68.37	48.93	60.4	59.23	Intermediário
SALVATERRA	Marajó	51.17	39.84	61.28	50.76	Intermediário
SANTA BÁR- BARA DO PARÁ	Metropolitana de Belém	68.09	48.69	51.13	55.97	Intermediário
SANTA CRUZ DO ARARI	Marajó	52.64	43.88	47.67	48.07	Intermediário
SANTA ISA- BEL DO PARÁ	Metropolitana de Belém	59.6	56.36	55.82	57.26	Intermediário
SANTA LUZIA DO PARÁ	Nordeste Paraense	48.76	38.83	44.1	43.9	Intermediário
SANTA MARIA DAS BARREI- RAS	Sudeste Paraense	38.08	45.61	43.89	42.53	Intermediário
SANTA MARIA DO PARÁ	Nordeste Paraense	49.39	46.81	51.49	49.23	Intermediário
SANTANA DO ARAGUAIA	Sudeste Paraense	43.15	56.41	42.54	47.37	Intermediário
SANTARÉM	Baixo Amazonas	60.67	51.9	55.2	55.92	Intermediário
SANTARÉM NOVO	Nordeste Paraense	59.72	35.61	44.96	46.77	Intermediário
SANTO ANTÔ- NIO DO TAUÁ	Metropolitana de Belém	47.96	45.03	55.07	49.35	Intermediário
SÃO CAE- TANO DE ODIVELAS	Nordeste Paraense	61.67	45.12	53.35	53.38	Intermediário
SÃO DO- MINGOS DO ARAGUAIA	Sudeste Paraense	41.54	41.65	54.48	45.89	Intermediário
SÃO DO- MINGOS DO CAPIM	Nordeste Paraense	39.28	32.75	33.15	35.06	Potencialmente Insustentável

Continua ...

Município	Região	Ambiental	Econômica	Social	BS	Nível de sustentabilidade
SÃO FÉLIX DO XINGU	Sudeste Paraense	45.94	44.38	42.53	44.29	Intermediário
SÃO FRANCISCO DO PARÁ	Nordeste Paraense	62.58	44.15	50.52	52.42	Intermediário
SÃO GERALDO DO ARAGUAIA	Sudeste Paraense	45.55	46.06	49.21	46.94	Intermediário
SÃO JOÃO DA PONTA	Nordeste Paraense	70.11	33.1	51.77	51.66	Intermediário
SÃO JOÃO DE PIRABAS	Nordeste Paraense	53.02	32.39	51.16	45.52	Intermediário
SÃO JOÃO DO ARAGUAIA	Sudeste Paraense	32.13	37.07	36.38	35.19	Potencialmente Insustentável
SÃO MIGUEL DO GUAMÁ	Nordeste Paraense	41.67	44.63	44.02	43.44	Intermediário
SÃO SEBASTIÃO DA BOA VISTA	Marajó	47.73	33.74	36.6	39.36	Potencialmente Insustentável
SAPUCAIA	Sudeste Paraense	54.39	55.74	48.03	52.72	Intermediário
SENADOR JOSÉ PORFÍRIO	Sudoeste Paraense	44.03	38.93	35.92	39.63	Potencialmente Insustentável
SOURE	Marajó	60.31	39	61.97	53.76	Intermediário
TAILÂNDIA	Nordeste Paraense	45.72	52.78	50.61	49.7	Intermediário
TERRA ALTA	Nordeste Paraense	63.14	40.32	56.95	53.47	Intermediário
TERRA SANTA	Baixo Amazonas	55.35	43.48	53.33	50.72	Intermediário
TOMÉ-AÇU	Nordeste Paraense	49.44	49.81	48.25	49.17	Intermediário
TRACUATEUA	Nordeste Paraense	43.69	30.45	37.02	37.05	Potencialmente Insustentável

Continua ...

Município	Região	Ambiental	Econômica	Social	BS	Nível de sustentabilidade
TRAIRÃO	Sudoeste Paraense	41.04	48.12	32.68	40.62	Intermediário
TUCUMÃ	Sudeste Paraense	45.35	52	53.84	50.4	Intermediário
TUCURUÍ	Sudeste Paraense	64.72	58.91	59.56	61.06	Potencialmente Sustentável
ULIANÓPOLIS	Sudeste Paraense	46.31	53.97	41.59	47.29	Intermediário
URUARÁ	Sudoeste Paraense	42.37	45.74	43.41	43.84	Intermediário
VIGIA	Nordeste Paraense	57.29	47.56	56.43	53.76	Intermediário
WISEU	Nordeste Paraense	22.86	31.56	38.19	30.87	Potencialmente Insustentável
VITÓRIA DO XINGU	Sudoeste Paraense	40.61	44.7	41.75	42.35	Intermediário
XINGUARA	Sudeste Paraense	50.07	57.89	53.67	53.88	Intermediário

Fonte: Elaborado pelo autor.

B APÊNDICE II

B.1 Resultados tabulares da Região Metropolitana de Belém

Tabela 17 – Variáveis da dimensão Ambiental por município da região Metropolitana de Belém

MUNICÍPIO	DIMENSÃO AMBIENTAL					
	AGUA_ESGOTO	PFLORA	PFOCOS	PINTERDRSAI	T_BANAGUA	T_LIXO
ANANINDEUA	90.57	53.29	99	65.94	37.86	91.32
BARCARENA	67.32	52.27	74	77.38	17.86	94.44
BELÉM	95.27	29.24	98	79.98	53.68	88.6
BENEVIDES	83.87	58.04	99	83.73	33.5	74.08
BUJARU	18.46	64.47	24.5	23.79	7.47	50.08
CASTANHAL	80.22	43.12	71	84.77	19.24	84.32
INHANGAPI	39.22	62.59	85	46.73	9.05	83.12
MARITUBA	83.6	56.07	99	86.7	36.94	57.88
SANTA BÁRBARA DO PARÁ	62.36	72.45	98	92.51	17.6	65.6
SANTA ISABEL DO PARÁ	80.24	57.18	88	40.51	19	72.64
SANTO ANTÔNIO DO TAUÁ	76.24	44.98	87	27.25	19.2	33.06

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 18 – Variáveis da dimensão Social por município da região Metropolitana de Belém

MUNICÍPIO	DIMENSÃO SOCIAL				
	MORT5	POP_URB	T_AGUA	T_ANALF15M	T_ENV
ANANINDEUA	63.08	95.31	68.4	67.8	40.6
BARCARENA	59.97	33	44	45.92	30.2
BELÉM	65.5	96.88	84.36	68.35	66
BENEVIDES	59.74	51.53	76.04	52.68	44.6
BUJARU	57.63	30	26.74	30.86	50.8
CASTANHAL	62.82	83.4	71.64	48.76	48.2
INHANGAPI	53.79	25.91	34.74	28.78	57.6
MARITUBA	59.19	91.08	59.58	61.3	29
SANTA BÁRBARA DO PARÁ	58.2	29.13	71.48	46.44	50.4
SANTA ISABEL DO PARÁ	59.69	67.22	62.8	42.28	47.1
SANTO ANTÔNIO DO TAUÁ	54.45	52.04	73.76	37	58.1

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 19 – Variáveis da dimensão Econômica por município da região Metropolitana de Belém

MUN*	DIMENSÃO ECONÔMICA										
	CPR	GINI	P_FORMAL	P_SIUP	P_TRANSE	RAZDEP	REN_PIBPC_D	RENOCUP	T_ATIV	THEIL	THEILtrab
1	68.06	38.67	51.75	80	66.2	82.8	25.66	76.16	57.3	44	61
2	61.86	36.67	45.52	80.01	80.47	70	62.55	70.5	54.18	36.67	56
3	67.36	32.67	54.58	78.5	54.8	83.18	53.1	87.2	56.15	27.33	35.33
4	65.2	44	43.39	61.5	71.2	76.78	45.83	65.93	54.4	58	70
5	19.79	38.67	13.59	1	39.1	26.94	46.13	40.78	50.17	56	52
6	64.66	37.33	47.43	69	80.29	80.25	36.19	71.6	53.1	38	61
7	51.88	38.67	29.98	1	73.8	61.12	21.17	53.61	45.61	44	68
8	72.66	56	54.1	53	49.3	80.99	24.23	67.13	53.52	67	78
9	57.42	38.67	35.59	37	66.65	66.12	13.8	57.43	47.94	46	69
10	55.92	39.33	41.77	80	80.77	77.04	19.52	63.78	50.81	46	65
11	44.3	38.67	27.71	63	39.8	62.88	16.48	60.67	51.84	42	48

Fonte: Elaborado pelo autor.

Nota*: Municípios: 1-Ananindeua; 2-Barcarena; 3-Belém; 4-Benevides; 5-Bujaru; 6-Castanhal; 7-Inhangapi; 8-Marituba; 9-Sta. Bárbara do Pará; 10-Sta. Isabel do Pará; 11-Sto. Antônio do Tauá.

C APÊNDICE III

C.1 Resultados tabulares da Região do Marajó

Tabela 20 – Variáveis da dimensão Ambiental por município da região do Marajó comparado ao município de melhor desempenho no Estado.

MUNICÍPIO	DIMENSÃO AMBIENTAL					
	AGUA_ESGOTO	PFLORA	PFOCOS	PINTERDRSAI	T_BANAGUA	T_LIXO
AFUÁ	9.75	66.4	96	28.2	5.01	87.6
ANAJÁS	10.11	82.97	95	80.13	4.2	58.86
BAGRE	12.76	82.13	72	93.67	4.95	44.78
BREVES	15.99	81.52	37.5	72.3	7.23	80.68
CACHOEIRA DO ARARI	26.32	72.92	61	44.13	9.57	53.8
CHAVES	6.56	68.36	20	100	3.42	35.04
CURRALINHO	13.01	81.55	55	65.82	5.69	19.8
GURUPÁ	15.1	80.46	68	62.19	9.39	86.48
MELGAÇO	9.01	81.89	69	53.53	4.63	46.26
MUANÁ	18.9	80.14	63	67.7	9.53	57.8
PONTA DE PEDRAS	22.82	68.49	61	34.01	11.52	32.5
PORTEL	45.1	82.19	19.49	73.84	9.74	57.58
SALVATERRA	68.78	66.4	70	68.53	17.32	16
SANTA CRUZ DO ARARI	84.24	82.03	82	26.33	14.16	27.1
SÃO SEBASTIÃO DA BOA VISTA	11.85	82	93	32.27	5.77	61.48
SOURE	83.55	74.81	68	65.34	18.34	51.84
MELHOR (BELÉM)	95.27	29.24	98	79.98	53.68	88.6

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 21 – Variáveis da dimensão Social por município da região do Marajó comparado ao município de melhor desempenho no Estado

MUNICÍPIO	DIMENSÃO SOCIAL				
	MORT5	POP_URB	T_AGUA	T_ANALF15M	T_ENV
AFUÁ	56.99	25.9	8.21	17.89	36.2
ANAJÁS	56.99	35.76	6.72	16.92	29.8
BAGRE	57.31	39.98	12.72	19.05	21.8
BELÉM (MELHOR)	65.5	96.88	84.36	68.35	66
BREVES	57.43	48.28	13.39	18.87	42.1
CACHOEIRA DO ARARI	57.43	33.84	33.32	32.72	59.6
CHAVES	56.45	11.82	8.57	18.32	43
CURRALINHO	56.45	35.36	10.19	19.62	36
GURUPÁ	57.31	31.18	11.64	18.86	40.9
MELGAÇO	57.27	21.28	6.95	16.04	17.53
MUANÁ	57.16	39.64	14.97	33.98	41.9
PONTA DE PEDRAS	56.9	44.33	19.27	31.18	49.2
PORTEL	56.22	44.3	17.97	17.6	26.4
SALVATERRA	59.2	58.69	84.76	43.84	59.9
SANTA CRUZ DO ARARI	57.16	44.59	49.08	36.92	50.6
SÃO SEBASTIÃO DA BOA VISTA	55.37	40.64	10.93	28.58	47.5
SOURE	55.27	88.07	59.6	42.32	64.6

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 22 – Variáveis da dimensão Econômica por município da região do Marajó comparado ao município de melhor desempenho no Estado

MUN*	DIMENSÃO ECONÔMICA										
	CPR	GINI	P_FORMAL	P_SIUP	P_TRANSF	RAZDEP	REN_PIBPC_D	RENOcup	T_ATIV	THEIL	THEILirab
1	37.9	29.33	16.88	25	51.3	14.39	17.76	50.45	44.64	30	58
2	26.36	32	15.28	73.5	73.15	9.89	14.58	54.77	46.69	30	37.33
3	25.54	44	10.21	12.4	64.95	12.26	13.41	44.27	50.51	56	65
4	67.36	32.67	54.58	78.5	54.8	83.18	53.1	87.2	56.15	27.33	35.33
5	42.74	34.67	22.68	20	80.28	14.87	14.47	54.18	48.67	34	54
6	62.6	33.33	20.09	1	21.1	46.24	16.4	42.56	45.44	28.67	70
7	64.4	28.67	8.92	26	3.85	17.24	15.61	34.79	47.25	26.67	71
8	19.6	35.33	17.82	18.1	69.4	10.99	12.88	47.18	49.53	34.67	52
9	19.54	36	8.61	37	80.08	15.21	13.46	47.64	48.36	42	61
10	23.08	36.67	10.93	35	78.8	10.08	12.26	44.16	47.03	40	61
11	19.1	36	18.93	61	80.81	34.94	16.03	48.18	48.68	37.33	60
12	34.38	32.67	23.13	37	27.4	46.24	13.71	50.15	46.56	28	37.33
13	45.3	30.67	20.76	63	71.8	6.62	20.04	53.54	47.4	29.33	46
14	42.1	35.33	21.03	50	30.5	60.32	13.24	51.88	47.2	32.67	54
15	47.22	42	26.77	71	5.94	72.68	14.27	39.3	41.53	52	70
16	18.32	37.33	8.99	1	78.85	27.8	15.78	44.84	45.61	38.67	54
17	51.52	38.67	30.07	1	29.6	62.9	14.27	56.55	47.05	39.33	58

Fonte: Elaborado pelo autor.

Nota*: Municípios: 1-Afuá; 2-Anajás; 3-Bagre; 4-Belém; 5-Breves; 6-Cachoeira do Arari; 7-Chaves; 8-Curralinho; 9-Gurupá; 10-Melgaço; 11-Muaná; 12-Ponta de Pedras; 13-Portel; 14-Salvaterra; 15-Sta. Cruz do Arari; 16-S. Sebastião da Boa Vista; 17-Soure.

D APÊNDICE IV

D.1 Resultados tabulares da Região do Baixo Amazonas

Tabela 23 – Variáveis da dimensão Ambiental por município da região do Baixo Amazonas comparados ao município de melhor desempenho no Estado

MUNICÍPIO	DIMENSÃO AMBIENTAL					
	AGUA_ESGOTO	PFLORA	PFOCOS	PINTERDRSAI	T_BANAGUA	T_LIXO
ALENQUER	16.47	81.92	19.9	47.74	8.84	42.3
ALMEIRIM	52.88	82.76	19.95	71.78	13.63	64.04
BELÉM (MELHOR)	95.27	29.24	98	79.98	53.68	88.6
BELTERRA	19.7	74.84	53	56.44	11.29	19.22
CURUÁ	13.82	55.01	68	66.99	6.18	10.97
FARO	38.96	82.96	82	23.06	12.21	15.68
JURUTI	26.14	80.06	19.97	93.7	12.6	86.88
MONTE ALEGRE	20.8	80.43	19.91	63.1	8.93	30.42
ÓBIDOS	26.16	81.72	19.72	34.37	9.16	43.84
ORIXIMINÁ	32.84	82.94	19.85	71.59	11.59	40.96
PLACAS	19.37	80.26	19.96	22.68	9.81	39.54
PORTO DE MOZ	20.76	80.07	19.86	69.41	9.71	16.24
PRAINHA	19.35	78.01	19.78	78.88	5.35	14.82
SANTARÉM	66.02	91.38	19.41	90.73	17.85	78.6
TERRA SANTA	52.76	64.3	78	33.64	16.02	87.36

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 24 – Variáveis da dimensão Social por município da região do Baixo Amazonas comparados ao município de melhor desempenho no Estado

MUNICÍPIO	DIMENSÃO SOCIAL				
	MORT5	POP_URB	T_AGUA	T_ANALF15M	T_ENV
ALENQUER	57.55	51.3	38.28	28.8	57.6
ALMEIRIM	62.56	59.49	36.06	32.54	34.4
BELÉM (MELHOR)	65.5	96.88	84.36	68.35	66
BELTERRA	57.16	40.77	19.65	35.2	70.6
CURUÁ	57.72	44.14	36.88	31.14	45.1
FARO	54.8	79.79	32.64	38.98	52.2
JURUTI	54.8	30.79	19.51	44.4	43.6
MONTE ALEGRE	55.86	43.75	39.92	31.46	64.6
ÓBIDOS	54.8	50.76	18.2	34.64	60.6
ORIXIMINÁ	57.44	60.08	15.83	37.06	47.1
PLACAS	56.49	18.18	32.66	25.76	22
PORTO DE MOZ	56.53	39.58	17.46	19.65	23
PRAINHA	57.63	30.53	18.06	25.18	37
SANTARÉM	61.54	71.06	39.22	50.4	53.8
TERRA SANTA	55.64	58.67	50.7	46.12	55.5

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 25 – Variáveis da dimensão Econômica por município da região do Baixo Amazonas comparados ao município de melhor desempenho no Estado

MUN*	DIMENSÃO ECONÔMICA										
	CPR	GINI	P_FORMAL	P_SIUP	P_TRANSF	RAZDEP	REN_PIBPC_D	RENOcup	T_ATIV	THEIL	THEILirab
1	36.68	34.67	19.47	32	51.5	18.89	27.09	45.59	49.59	32	38.67
2	51.72	30	38.84	80.01	79.25	43.92	37.13	77.88	55.34	20.67	32
3	67,36	32,67	54,58	78,5	54,8	83,18	53,1	87,2	56,15	27,33	35,33
4	70.66	34.67	23.69	61.5	42.2	29.4	44.57	48.14	45.78	33.33	60
5	68.16	33.33	21.11	35	35.6	17.56	15.11	40.82	50.28	30.67	54
6	73.1	36	26.68	80.12	15.44	19.16	17.54	43.34	43.04	36	60
7	53.62	34	30.06	62	37.2	16.95	47.07	56.84	49.96	30.67	46
8	41.34	34	20.35	64	54.1	38.38	25.58	48.38	49.03	34.67	38.67
9	32.1	34	24.69	32	71.65	28.98	27.21	52.23	52.12	30	30
10	54.66	30.67	33.35	56	61.3	27.48	61.25	65.51	51.43	20.67	35.33
11	54.66	34	11.92	5.75	28.8	54.6	15.03	51.1	52.96	34.67	58
12	48.3	34	10.39	6.7	58.8	12.79	15.36	47.93	54.46	32.67	52
13	38.62	28	15.77	70	50.2	18.3	19.25	47.72	48.27	22	24.67
14	51.38	34.67	37.89	63.5	64.95	62.82	64.17	67.73	53.78	31.33	38.67
15	53.18	34.67	25.93	39	67	38.84	48.2	64.02	50.76	31.33	25.33

Fonte: Elaborado pelo autor.

Nota*: Municípios: 1-Alenquer; 2-Almerim; 3-Belém(Melhor); 4-Belterra; 5-Curuá; 6-Faro; 7-Juruti; 8-Monte Alegre; 9-Óbidos; 10-Oriximiná; 11-Placas; 12-Porto de Moz; 13-Prainha; 14-Santarém; 15-Terra Santa.

E APÊNDICE V

E.1 Resultados tabulares da Região do Nordeste Paraense

Tabela 26 – Variáveis da dimensão Ambiental por município da região do Nordeste Paraense comparados ao município de melhor desempenho no Estado

MUNICÍPIO	DIMENSÃO AMBIENTAL					
	AGUA_ESGOTO	PFLORA	PFOCOS	PINTERDRSAI	T_BANAGUA	T_LIXO
ABAETETUBA	40.4	66.38	39.5	47.85	13.14	91.44
ACARÁ	17.83	72.66	19.69	75.38	6.5	36.96
AUGUSTO CORRÊA	20.98	43.98	68	41.24	7.8	17.07
AURORA DO PARÁ	42.42	41.76	32	44.95	11.74	48.96
BAIÃO	52.98	74.05	24.5	60.36	13.43	19.1
BELÉM (MELHOR)	95.27	29.24	98	79.98	53.68	88.6
BONITO	34.7	39.48	81	88.06	9.79	35.64
BRAGANÇA	53.04	30.24	35	58.63	15.99	47.76
CACHOEIRA DO PIRIÁ	10.2	55.89	28	89.91	2.81	35.04
CAMETÁ	35.52	77.27	19.93	58.69	12.69	56.26
CAPANEMA	76.24	37.13	91	57.11	16.29	85.08
CAPITÃO POÇO	49.1	29.75	28.5	34.2	14.03	95.48
COLARES	45.98	31.61	95	94.22	15.39	57.86
CONCÓRDIA DO PARÁ	16.71	59.39	49	74.42	8.84	47.42
CURUÇÁ	76.56	74.69	84	67.33	17.63	41.18
GARRAFÃO DO NORTE	17.61	32.54	32.5	68.01	7.57	15.5
IGARAPÉ-AÇU	57.24	41.92	81	70.02	16.48	61.48
IGARAPÉ-MIRI	18.55	80.1	59	48.6	7.88	62.52
IPIXUNA DO PARÁ	43.56	64.31	19.93	44.57	12.79	46.88
IRITUIA	44.36	34.05	40	47.14	11.45	54.32
LIMOEIRO DO AJURU	11.56	65.8	92	42.47	5.57	82.08
MÃE DO RIO	52.28	18.65	90	36.93	16.07	68.08
MAGALHÃES BARATA	81.67	80.25	91	90	18.59	25.3
MARACANÃ	48.28	68.46	72	48.62	13.82	19.28
MARAPANIM	57.1	71.81	71	88.32	15.98	66.16
MOCAJUBA	60.18	78.79	58	35.43	12.58	61.76
MOJU	20.18	76.92	19.5	63.26	8.56	57.82
NOVA ESPERANÇA DO PIRIÁ	12.09	67.16	19.95	46.29	6.91	61.12
NOVA TIMBOTEUA	44.02	44.97	85	86.38	11.39	80.84
OEIRAS DO PARÁ	17.55	80.6	24	72.17	7.02	56.74
OURÉM	39.74	35.52	85	52.66	13.17	82
PEIXE-BOI	47.52	42.68	91	89.02	14.13	38.8
PRIMAVERA	49.3	67.48	90	92.45	14.36	42.62
QUATIPURU	38.78	68.7	96	96.99	10.99	44.26
SALINÓPOLIS	85.56	68.72	97	85.05	18.68	55.18
SANTA LUZIA DO PARÁ	18.53	22.48	72	84.21	8.56	86.76
SANTA MARIA DO PARÁ	65.48	33.47	80	35.25	17.39	64.72
SANTARÉM NOVO	47.76	64.61	91	86.96	13.59	54.42
SÃO CAETANO DE ODIVELAS	64.98	44.52	90	95.77	15.31	59.42
SÃO DOMINGOS DO CAPIM	34.38	44.36	19.97	31.89	8.37	96.72
SÃO FRANCISCO DO PARÁ	59.54	41.95	86	82.56	16.3	89.12
SÃO JOÃO DA PONTA	47.82	68.67	95	94.48	14.7	100
SÃO JOÃO DE PIRABAS	38	73.65	85	74.85	12.67	33.92
SÃO MIGUEL DO GUAMÁ	31.86	43.65	43	75.95	13.38	42.2
TAILÂNDIA	19	63.18	19.98	77.35	12.58	82.24
TERRA ALTA	74.1	49.76	92	92.29	16.58	54.1
TOMÉ-AÇU	58.3	64	19.94	64.27	13.68	76.44
TRACUATEUA	15.82	35.07	77	55.57	8.95	69.72
VIGIA	61.2	46.84	88	49.24	16.84	81.6
VISEU	18.32	44.28	19.99	30.71	7.41	16.47

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 27 – Variáveis da dimensão Social por município da região do Nordeste Paraense comparados ao município de melhor desempenho no Estado

MUNICÍPIO	DIMENSÃO SOCIAL				
	MORT5	POP_URB	T_AGUA	T_ANALF15M	T_ENV
ABAETETUBA	59.72	56.36	19.69	32.58	49.1
ACARÁ	54.99	23.36	18.37	19.69	47.5
AUGUSTO CORRÊA	56.74	42.83	45.52	18.51	48.9
AURORA DO PARÁ	56.9	28.72	47.36	19.18	45.7
BAIÃO	56.49	45	40.3	32.14	43.9
BELÉM (MELHOR)	65.5	96.88	84.36	68.35	66
BONITO	56.58	26.05	57.42	19.57	45.6
BRAGANÇA	54.62	61.19	27.46	28.72	53.8
CACHOEIRA DO PIRIÁ	57.57	18.8	22.64	17.9	17.53
CAMETÁ	54.49	41.47	17.92	38.94	52.9
CAPANEMA	59.24	77.46	61.8	32.38	64.6
CAPITÃO POÇO	53.61	40.81	52.62	19.05	51.6
COLARES	55.73	31.56	57.18	39.28	80.06
CONCÓRDIA DO PARÁ	52.85	49.91	44.98	19.9	48
CURUÇÁ	55.07	33.3	66.04	38.34	80.06
GARRAFÃO DO NORTE	55.63	34.04	41	17.51	46.8
IGARAPÉ-AÇU	53.06	57.5	51.94	28.86	67.2
IGARAPÉ-MIRI	56.49	43.94	13.94	21.88	51.9
IPIXUNA DO PARÁ	54.99	22.39	33.12	19.33	18.48
IRITUIA	55.63	20.62	45.16	20.7	65
LIMOEIRO DO AJURU	54.49	23.35	7.71	30.5	41.1
MÃE DO RIO	55.63	80.5	60.68	24.8	56.2
MAGALHÃES BARATA	59.08	46.06	74	38.74	80.11
MARACANÃ	55.85	40.71	40.52	36	80.06
MARAPANIM	55.35	43.1	57.2	42.24	80.2
MOCAJUBA	54.49	64.24	32.2	38.16	55.6
MOJU	54.99	33.65	43.36	22.5	38
NOVA ESPERANÇA DO PIRIÁ	54.99	38.8	43.5	18.5	18.54
NOVA TIMBOTEUA	58.89	38.59	62.28	19.99	80.11
OEIRAS DO PARÁ	54.49	38	19.44	23.14	38
OURÉM	50.96	44.13	54.98	19.86	64.4
PEIXE-BOI	54.54	52.85	61.24	19.49	80.09
PRIMAVERA	56.74	61.26	69.44	19.79	80.17
QUATIPURU	51.57	41.38	37.32	19.3	66
SALINÓPOLIS	59.67	86.61	66.04	37.9	51.8
SANTA LUZIA DO PARÁ	50.43	44.68	49.34	18.84	57.2
SANTA MARIA DO PARÁ	55.85	56.36	59.46	19.96	65.8
SANTARÉM NOVO	56.98	28.53	51.3	25.6	62.4
SÃO CAETANO DE ODIVELAS	56.15	40.3	59.58	37.32	73.4
SÃO DOMINGOS DO CAPIM	56.9	21.57	19.7	19.6	48
SÃO FRANCISCO DO PARÁ	58.25	33.42	54.54	28.18	78.2
SÃO JOÃO DA PONTA	56.14	18.47	59.12	45.04	80.1
SÃO JOÃO DE PIRABAS	54.44	48.7	52.84	19.83	80
SÃO MIGUEL DO GUAMÁ	54.27	58.59	28.32	26.02	52.9
TAILÂNDIA	57.29	64.84	81.88	32.96	16.07
TERRA ALTA	53.15	40.05	76.28	41.48	73.8
TOMÉ-AÇU	59.67	53.4	55.44	27.86	44.9
TRACUATEUA	57.26	25.22	27.24	19.66	55.7
VIGIA	56.26	64.63	61.64	39.94	59.7
WISEU	57.27	31.54	34.84	19.48	47.8

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 28 – Variáveis da dimensão Econômica por município da região do Nordeste Paraense comparados ao município de melhor desempenho no Estado

MUN*	DIMENSÃO ECONÔMICA										
	CPR	GINI	P_FORMAL	P_SIUP	P_TRANSE	RAZDEP	REN_PIBPC_D	RENOcup	T_ATIV	THEIL	THEILirab
1	44.64	38	32.99	42	75.25	69.26	15.17	58.42	51.11	38	40
2	20.5	38	15.45	22	80.02	31.54	45	43.56	55.74	52	65
3	18.84	36	11.39	12.4	18.95	20.44	14.91	36.7	42.48	38	42
4	60.78	36	16.46	1	80.01	43.32	19.97	47.7	37.21	38.67	70
5	50.02	38	18.44	23	33.4	39.44	15.67	42.73	53.08	39.33	66
6	67.36	32.67	54.58	78.5	54.8	83.18	53.1	87.2	56.15	27.33	35.33
7	34.06	40	25.42	13.35	73.25	62.84	13.66	43.92	53.36	52	68
8	33.32	34.67	22.58	48	46.4	57.52	20.38	60.46	49.66	32.67	38
9	40.12	34.67	6.62	6.7	27.3	20.82	12.04	38.15	43.44	46	67
10	34.84	34.67	19.13	62	41.4	31.7	14.55	45.61	53.22	32.67	37.33
11	53.88	38	30.68	70	63.5	74.24	34.3	62.09	52.72	38	44
12	48.02	32	12.73	7.65	28.8	53.04	17.46	49.56	54.57	26.67	34.67
13	36.8	36	16.23	31	12.59	38.68	13.27	43.42	45.3	35.33	40
14	42.36	40	23.52	26	71.3	38.14	19.41	52.86	51.96	48	58
15	32.86	36	19.17	60	23.6	40	15.11	45.36	41.56	32.67	52
16	32.04	36.67	11.17	16.2	42.1	30.02	16.9	46.7	56.22	39.33	35.33
17	51.76	36	19.53	61	56.5	65.46	18.13	54.48	49.79	34.67	48
18	27.28	38	18.69	35	73.3	44.08	15.7	44.29	51.98	48	61
19	67.62	35.33	24.34	51	41.6	57.32	21.58	54.9	37.79	48	76
20	47.68	34.67	16.41	80.04	26	34.5	12.99	42.29	57.28	34.67	36.67
21	24.8	34.67	19.53	12.4	26.9	24.48	41.27	32.7	55.42	34.67	46
22	48.72	34.67	24.88	58	76.55	56.6	20.38	63.91	49.44	32	39.33
23	51.6	37.33	14.73	78.5	33.6	33.06	17.88	43.69	40.17	36.67	52
24	28.9	34	13.12	14.3	14.96	30.7	14.86	44.41	45.52	33.33	38.67
25	25.3	37.33	20.09	72	17.34	41.56	14.44	49.76	49.99	36	54
26	34.74	34.67	20.69	80.22	60.9	23.72	19.41	46.81	57.41	32.67	33.33
27	44.5	31.33	27.61	11.45	70.25	31.78	22.11	62.04	51.76	27.33	28
28	54.94	31.33	8.31	54	50.8	30.7	20.04	44	46.64	29.33	44
29	34.72	38.67	21.89	48	14.87	70.72	15.75	50.03	48.88	42	48
30	19.73	36	16.42	1	80.17	12.17	24.42	42.29	52.36	37.33	52
31	41.44	32	12.51	42	53.5	44.76	24.3	60.25	44.2	26.67	23.33
32	53.12	36.67	18.49	49	23.8	64.38	20.26	48.46	42.75	36.67	61
33	52.2	30	13.63	74	20.8	46.72	16.84	49.86	52.75	18.1	18.1
34	21.5	33.33	17.29	13.35	31.8	43.68	13.96	49.13	49.63	28.67	24.67
35	68.52	38.67	20.77	80.14	27.3	67.12	17.82	63.74	58.16	40	56
36	53.58	36	14.46	53	36.8	39.86	14.5	51.17	41.77	36	50
37	36.32	38.67	17.79	45	73.8	74.36	32.23	57.86	52.9	44	42
38	59.36	36	20.1	22	9.64	35.44	15.42	45.84	36.58	39.33	72
39	19.46	44	19.6	80.1	37.4	57.96	15.39	48.55	48.82	56	69
40	39.42	33.33	14.08	22	48.9	16.78	21.96	41.05	54.11	30.67	38
41	26.52	44	20.79	42	26.4	68.4	31.85	54.22	45.48	56	70
42	30.38	39.33	17.69	32	23	37.3	13.46	38.84	50.82	42	39.33
43	50.28	34.67	16.44	9.55	26.9	39.3	14.24	45.74	42.5	32.67	44
44	42.92	38	28.93	27	82.48	49.08	28.42	57.4	52.67	42	42
45	73.2	38.67	36.76	44	80.83	61.34	17.04	68.59	47.14	48	65
46	60.54	37.33	24.95	34	33.8	44.48	14.69	50.04	44.73	38	61
47	68.86	37.33	29.94	59	80.4	40.16	19.55	62.83	54.56	39.33	56
48	51.9	34	9.21	12.4	14.58	36.84	15.72	40.35	51.95	34.67	33.33
49	42.5	40	23.72	68	46.2	69.92	14.05	60.94	49.85	48	60
50	43.16	32	16.5	57	18.58	17.97	18.24	44.3	38.08	27.33	34

Fonte: Elaborado pelo autor.

Nota*: Municípios: 1-Abaetetuba; 2-Acará; 3-Augusto Corrêa; 4-Aurora do Pará; 5-Baião; 6-Belém (Melhor); 7-Bonito; 8-Bragança; 9-Cachoeira do Piriá; 10-Cametá; 11-Capanema; 12-Capitão Poço; 13-Colares; 14-Concórdia do Pará; 15-Curuçá; 16-Garração do Norte; 17-Igarapé-Açu; 18-Igarapé-Miri; 19-Ípuxina do Pará; 20-Irituia; 21-Limoeiro do Ajuru; 22-Mãe do Rio; 23-Magalhães Barata; 24-Maracanã; 25-Marapanim; 26-Mocajuba; 27-Moju; 28-Nova Esperança do Piriá; 29-Nova Timboteua; 30-Oeiras do Pará; 31-Ourém; 32-Peixe-Boi; 33-Primavera; 34-Quatipuru; 35-Salinópolis; 36-Sta. Luzia do Pará; 37-Sta. Maria do Pará; 38-Santarém Novo; 39-S. Caetano de Odívalas; 40-S. Domingos do Capim; 41-S. Francisco do Pará; 42-S. João da Ponta; 43-S. João de Pirabas; 44-S. Miguel do Guamá; 45-Tailândia; 46-Terra Alta; 47-Tomé-Açu; 48-Tracuateua; 49-Vigia; 50-Viseu.

F APÊNDICE VI

F.1 Resultados tabulares da Região do Sudeste Paraense

Tabela 29 – Variáveis da dimensão Ambiental por município da região do Sudeste Paraense comparados ao município de melhor desempenho no Estado

MUNICÍPIO	DIMENSÃO AMBIENTAL					
	AGUA_ESGOTO	PFLORA	PFOCOS	PINTERDRSAI	T_BANAGUA	T_LIXO
ABEL FIGUEIREDO	67.34	34.48	88	50.38	18.31	64.92
ÁGUA AZUL DO NORTE	80.53	44.38	34.5	30.68	25.86	74.88
BANNACH	80.01	34.92	39	38.63	19.31	55.22
BELÉM (MELHOR)	95.27	29.24	98	79.98	53.68	88.6
BOM JESUS DO TOCANTINS	59.8	52.08	48	49.15	14.7	53.08
BREJO GRANDE DO ARAGUAIA	36.18	35.31	72	19.9	12.43	21.66
BREU BRANCO	29.26	42.57	22	69.37	12.62	92.4
CANAÃ DOS CARAJÁS	76.54	55.45	82	89	17.86	93.6
CONCEIÇÃO DO ARAGUAIA	84.42	44.42	19.79	57.09	22.82	76.36
CUMARÚ DO NORTE	77.38	61.43	19.52	59.06	12.71	37.06
CURIONÓPOLIS	39.08	25.95	81	44.13	16.19	26.9
DOM ELISEU	20.16	62.81	19.94	38.3	12.87	52.38
ELDORADO DOS CARAJÁS	32.72	15.63	47	45.36	11.31	15.48
FLORESTA DO ARAGUAIA	64.2	34.23	19.94	42.47	13.23	15.75
GOIANÉSIA DO PARÁ	39.46	53.34	19.87	51.18	14.56	57.18
ITUPIRANGA	18.46	55.24	19.88	54.49	8.57	44.9
JACUNDÁ	53.64	29.16	75	34.22	15.38	63.24
MARABÁ	65.68	54.23	19.84	94.9	17.3	54.78
NOVA IPIXUNA	39.46	36.62	72	97.14	10.23	55.58
NOVO REPARTIMENTO	40.6	55.31	19.51	57.47	9.68	56.4
OURILÂNDIA DO NORTE	67.18	81.5	24.5	42.24	17.45	83.92
PALESTINA DO PARÁ	18.53	34.19	82	19.24	9.1	16.7
PARAGOMINAS	68.42	72.35	19.5	92.17	18.43	88.68
PARAUAPEBAS	86.57	81.01	75	95.84	31.5	93.2
PAU D'ARCO	67.2	47.32	46	32.02	15.99	30
PIÇARRA	33.62	19.86	52	34.52	9.76	78.56
REDENÇÃO	69.86	34.97	25.5	69.71	20.34	54.86
RIO MARIA	64.88	28.38	19.98	47.98	19.39	66.88
RONDON DO PARÁ	72.96	54.6	19.73	35.16	18.78	74.88
SANTA MARIA DAS BARREIRAS	62.76	47.33	19.48	41.6	15.06	42.26
SANTANA DO ARAGUAIA	58.74	49.66	19.45	30.31	17.52	83.2
SÃO DOMINGOS DO ARAGUAIA	42.52	26.59	80	42.76	10.84	46.54
SÃO FÉLIX DO XINGU	43.92	80.08	19.14	46.91	14.68	70.92
SÃO GERALDO DO ARAGUAIA	63.98	28.91	57	27.44	15.92	80.04
SÃO JOÃO DO ARAGUAIA	22.14	50.45	68	26.91	9.19	16.11
SAPUCAIA	84.4	19.83	87	34.92	30.4	69.8
TUCUMÃ	80.96	21.1	55	51.32	20.6	43.14
TUCURUÍ	81.46	52.94	51	95.24	22.22	85.48
ULIANÓPOLIS	64.18	58.33	19.91	50.38	17.63	67.4
XINGUARA	77.36	20.3	58	52.9	21.02	70.84

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 30 – Variáveis da dimensão Social por município da região do Sudeste Paraense comparados ao município de melhor desempenho no Estado

MUNICÍPIO	DIMENSÃO SOCIAL				
	MORT5	POP_URB	T_AGUA	T_ANALF15M	T_ENV
ABEL FIGUEIREDO	60.54	86.04	67.04	24.48	53.1
ÁGUA AZUL DO NORTE	59.61	18.89	77.48	36.46	18.54
BANNACH	58.2	38.38	55.4	23.44	46.9
BELÉM (MELHOR)	65.5	96.88	84.36	68.35	66
BOM JESUS DO TOCANTINS	57.35	51.26	56.88	19.73	51.8
BREJO GRANDE DO ARAGUAIA	53.1	59.14	73.44	20.42	53.2
BREU BRANCO	57.84	50.5	56.38	19.94	34.8
CANAÃ DOS CARAJÁS	59.08	66.73	79.56	40.28	19.11
CONCEIÇÃO DO ARAGUAIA	56.53	70.26	59.78	31.36	67.2
CUMARÚ DO NORTE	59.4	23.16	41.96	18.76	16.26
CURIONÓPOLIS	62.44	69.68	19.98	24.04	70.6
DOM ELISEU	55.73	59.55	47.42	24.66	22.8
ELDORADO DOS CARAJÁS	54.94	51.14	64.64	19.69	39.4
FLORESTA DO ARAGUAIA	59.05	46.5	19.62	22.48	44.8
GOIANÉSIA DO PARÁ	53.13	57.76	50.84	19.37	27.2
ITUPIRANGA	53.47	39.62	47.44	19.26	42.5
JACUNDÁ	54.35	84.01	65.12	28.04	41.9
MARABÁ	57.97	73.95	64.76	37.28	33.4
NOVA IPIXUNA	56.1	50.1	55.18	19.55	49.6
NOVO REPARTIMENTO	52.91	41.31	37.92	19.86	33
OURILÂNDIA DO NORTE	59.41	67.39	73.12	34.88	19.11
PALESTINA DO PARÁ	55.38	60.9	58.66	19.16	59.1
PARAGOMINAS	56.75	73.73	72.8	34.14	18.04
PARAUAPEBAS	62.56	78.54	74.32	47.56	14.24
PAU D'ARCO	53.75	63.4	21.2	19.42	58.5
PIÇARRA	59.09	28.15	51.68	19.48	41
REDENÇÃO	60.92	88.68	61	36.76	43.3
RIO MARIA	60.92	76.02	64.84	27.92	54.1
RONDON DO PARÁ	58.63	70.87	48.88	19.98	45
SANTA MARIA DAS BARREIRAS	58.09	33.57	56.7	22.7	48.4
SANTANA DO ARAGUAIA	56.99	47.06	58.9	30.52	19.24
SÃO DOMINGOS DO ARAGUAIA	52.39	63.53	76.2	20.6	59.7
SÃO FÉLIX DO XINGU	59.69	42.19	58.02	36.82	15.95
SÃO GERALDO DO ARAGUAIA	59.11	54.24	56.06	22.56	54.1
SÃO JOÃO DO ARAGUAIA	52.89	19.31	40.62	18.87	50.2
SAPUCAIA	59.05	61.63	67.8	19.46	32.2
TUCUMÃ	63.62	74.7	60.32	35.58	35
TUCURUÍ	60.38	89.21	77.36	42.24	28.6
ULIANÓPOLIS	55.21	57.08	51.16	30	14.49
XINGUARA	59.95	74.83	56.24	35.42	41.9

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 31 – Variáveis da dimensão Econômica por município da região do Sudeste Paraense comparados ao município de melhor desempenho no Estado

MUN*	DIMENSÃO ECONÔMICA										
	CPR	GINI	P_FORMAL	P_SIUP	P_TRANSF	RAZDEP	REN_PIBPC_D	RENOcup	T_ATIV	THEIL	THEILirab
1	76.28	35.33	26.23	9.55	80.52	64.44	20.26	70.02	51.48	34.67	39.33
2	77.98	42	31.55	7.65	64.6	82.56	29.4	60.07	46.66	61	85
3	46.66	32	29.63	24	11.83	70.76	42.93	71.09	52.78	28	44
4	67.36	32.67	54.58	78.5	54.8	83.18	53.1	87.2	56.15	27.33	35.33
5	73.2	38.67	22.52	75	36	67.18	16.59	61.18	52.95	44	65
6	71.78	35.33	21.66	26	35	59.76	16.93	60.49	49.61	35.33	40
7	53.36	38	31.04	34	72.3	37.56	20.11	60.31	47.47	38.67	70
8	77.22	36.67	46.74	77	48	72.4	86.68	77.65	58.89	36.67	61
9	63.28	37.33	31.64	49	61.6	64.24	22.19	66.39	53.27	39.33	52
10	70.44	30.67	38.94	1	35.7	79.04	44.4	65.83	58.91	27.33	74
11	66.94	37.33	26.44	60	32.9	56.04	30.83	65.98	44.05	37.33	69
12	78.74	38.67	39.94	71.5	72.85	67.16	19.05	66.4	56.28	44	61
13	75.3	35.33	20.23	22	80.12	46.68	18.99	60.57	50.47	36	54
14	52.26	32	21.16	36	36.3	64.68	53.2	61.71	50.11	29.33	36
15	73.7	37.33	29.68	56	68	66.18	18.16	62.65	48.63	46	69
16	55.68	32	18.62	33	42.3	37.38	18.27	54.23	46.14	33.33	56
17	69.76	34	33.53	62.5	80.45	71.62	17.21	70.99	53.11	32.67	36
18	67.16	34.67	47.82	68.5	71.15	71.7	61.22	78.59	56	32.67	52
19	51.44	34	19.15	1	68.7	52.12	16.37	57.55	53.28	32	58
20	57.88	34	17.35	23	59.1	40.48	22	58.36	49.31	36	61
21	74.86	36.67	46.75	10.5	40	74.82	40.7	72.69	53.74	36.67	69
22	71.3	36.67	29.13	14.3	34.7	56	15.45	58.99	45.06	35.33	58
23	75.34	33.33	49.94	61.5	75.45	67.82	47.03	79.61	55.82	28.67	38
24	81.78	38	61.06	62	54.4	80.28	86.9	83.26	58.81	38.67	63
25	82.56	39.33	41.86	1	37.6	65.46	23.81	60.54	43.79	44	72
26	62.12	38.67	33.01	11.45	53.5	60.46	28.42	60.12	49.5	52	72
27	68.62	38	40.13	54	62.7	76.62	38.15	77.08	58.03	40	54
28	67.74	38	36.45	53	80.2	80.11	41.8	70.76	56.27	40	61
29	72.32	37.33	31.48	33	67.15	77.46	19.86	63.8	51.72	44	63
30	58.72	36	19.05	58	27.4	68.8	26.91	57.99	43.83	36	69
31	73.06	48	44.07	24	71	72.68	20.15	65.25	56.32	67	79
32	49.6	34	22.25	28	59.2	40.36	16.68	62.76	52.58	30.67	62
33	60.18	32	28	27	23.9	81.15	20.34	69.7	48.26	34.67	63
34	61.74	38	25.74	44	30.4	60.68	25.4	63.19	51.46	46	60
35	46.54	36.67	17.25	25	22.7	38.76	16.62	50.64	45.6	44	64
36	73.94	38.67	50.24	68	38.7	77.34	38.08	70.01	58.12	40	60
37	61.46	38	32.5	30	67.85	78.9	34.98	72.19	66.12	40	50
38	67.76	35.33	48.46	80.21	62.65	70.14	73.09	80.85	54.17	33.33	42
39	88.15	26.67	58.07	55	80.62	65.52	65.16	93.66	46.42	5.75	8.6
40	70.1	36.67	41.19	64	78.15	76.56	47.13	76.63	56.36	38	52

Fonte: Elaborado pelo autor.

Nota*: Municípios: 1-Abel Figueiredo; 2-Água Azul Do Norte; 3-Bannach; 4-Belém; 5-Bom Jesus Do Tocantins; 6-Brejo Grande Do Araguaia; 7-Breu Branco; 8-Canaã Dos Carajás; 9-Conceição Do Araguaia; 10-Cumaru Do Norte; 11-Curionópolis; 12-Dom Eliseu; 13-Eldorado Dos Carajás; 14-Floresta Do Araguaia; 15-Goianésia Do Pará; 16-Itupiranga; 17-Jacundá; 18-Marabá; 19-Nova Ipixuna; 20-Novo Repartimento; 21-Ourilândia Do Norte; 22-Palestina Do Pará; 23-Paragominas; 24-Parauapebas; 25-Pau D'arco; 26-Piçarra; 27-Redenção; 28-Rio Maria; 29-Rondon Do Pará; 30-Santa Maria Das Barreiras; 31-Santana Do Araguaia; 32-São Domingos Do Araguaia; 33-São Félix Do Xingu; 34-São Geraldo Do Araguaia; 35-São João Do Araguaia; 36-Sapucaia; 37-Tucumã; 38-Tucuruí; 39-Ulianópolis; 40-Xinguara.

G APÊNDICE VII

G.1 Resultados tabulares da Região do Sudoeste Paraense

Tabela 32 – Variáveis da dimensão Ambiental por município da região do Sudoeste Paraense comparados ao município de melhor desempenho no Estado

MUNICÍPIO	DIMENSÃO AMBIENTAL					
	AGUA_ESGOTO	PFLORA	PFOCOS	PINTERDRSAI	T_BANAGUA	T_LIXO
ALTAMIRA	71.36	82.5	18.99	38.28	18.73	64.2
ANAPU	23.38	80.52	22.5	47.57	7.6	28.88
AVEIRO	15.65	82.11	19.95	82.02	7.55	15.64
BELÉM (MELHOR)	95.27	29.24	98	79.98	53.68	88.6
BRASIL NOVO	64.54	67.3	19.92	38.96	15.24	70.8
ITAITUBA	48.08	82.26	19.34	60.86	15.77	72.2
JACAREACANGA	47.28	82.67	19.97	43.55	6.56	19.58
MEDICILÂNDIA	49.86	80.58	33	60.94	11.28	35.12
NOVO PROGRESSO	84.9	81.03	19.37	88.22	40.36	78.52
PACAJÁ	49.36	70.44	19.48	41.67	8.33	17.69
RURÓPOLIS	18.02	80.56	19.98	51.47	8.52	38.06
SENADOR JOSÉ PORFÍRIO	25.24	82	21	59.47	8.79	67.68
TRAIRÃO	22.48	82.22	23.5	61.8	11.24	45.02
URUARÁ	43.96	78.94	19.91	45.26	13.92	52.2
VITÓRIA DO XINGU	50.34	43.72	76	48.76	13.31	11.52

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 33 – Variáveis da dimensão Social por município da região do Sudoeste Paraense comparados ao município de melhor desempenho no Estado

MUNICÍPIO	DIMENSÃO SOCIAL				
	MORT5	POP_URB	T_AGUA	T_ANALF15M	T_ENV
ALTAMIRA	62.9	80.01	53.58	35.1	43.9
ANAPU	58.55	41.65	49.38	21.52	23.6
AVEIRO	53.76	19.92	19.18	32.58	51.7
BELÉM (MELHOR)	65.5	96.88	84.36	68.35	66
BRASIL NOVO	62.56	45.09	42.04	24.34	54.7
ITAITUBA	62.82	71.86	50.78	32.32	40
JACAREACANGA	60.38	43.2	19.58	18.24	14.74
MEDICILÂNDIA	59.89	32.98	32.58	23.3	37.4
NOVO PROGRESSO	67.96	70.3	70.08	44.4	15.38
PACAJÁ	53.57	31.93	39.78	19.64	40.9
RURÓPOLIS	55.85	34.44	39.74	24.44	35.2
SENADOR JOSÉ PORFÍRIO	54.56	52.47	30.4	19.36	22.8
TRAIRÃO	55.73	32.14	33.86	20.48	21.2
URUARÁ	59.67	54.62	38.96	29.78	34
VITÓRIA DO XINGU	58.99	38.1	40.96	27.82	42.9

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 34 – Variáveis da dimensão Econômica por município da região do Sudoeste Paraense comparados ao município de melhor desempenho no Estado

MUN*	DIMENSÃO ECONÔMICA										
	CPR	GINI	P_FORMAL	P_SIUP	P_TRANSF	RAZDEP	REN_PIBPC_D	RENOcup	T_ATIV	THEIL	THEILirab
1	68.98	36	36.26	61	64.3	72.38	67.55	72.53	56.96	37.33	54
2	68.72	34.67	17.84	15.25	56.2	43.72	22.42	52.09	61.28	36	63
3	76.76	33.33	13.53	1	13.45	14.94	13.8	27.07	50.29	32.67	58
4	67.36	32.67	54.58	78.5	54.8	83.18	53.1	87.2	56.15	27.33	35.33
5	55.3	28.67	18.4	9.55	37.3	69.16	27.06	70.15	51.09	20	25.33
6	58.24	35.33	32.98	27	63.5	69.4	31.77	72.51	52.17	34.67	48
7	62.32	27.33	12.28	67.5	10.4	66.26	1	73.05	47.87	2.9	68
8	37.56	32.67	16.6	14.3	19.72	69.42	28.98	63.98	54.02	30.67	40
9	60.26	37.33	26.22	37	72.15	80.29	38.87	80.5	65.75	38	58
10	59.72	30	15.48	17.15	62.8	45.52	19.52	54.69	45.42	23.33	56
11	27.48	35.33	20.34	31	37.4	54.96	13.13	56.09	48.86	40	63
12	43.66	37.33	15.39	36	37.4	32.14	19.05	50.57	52.06	38.67	66
13	55.7	36.67	17.25	33	67.3	68.66	30.3	63.41	54.36	36.67	66
14	55.42	35.33	24.41	30	60.8	64.74	19.89	65.17	54.08	35.33	58
15	48.28	33.33	18.29	48	20.6	72.84	64.82	62	52.18	31.33	40

Fonte: Elaborado pelo autor.

Nota*: Municípios: 1-Altamira; 2-Anapu; 3-Aveiro; 4-Belém (Melhor); 5-Brasil Novo; 6-Itaituba; 7-Jacareacanga; 8-Medicilândia; 9-Novo Progresso; 10-Pacajá; 11-Rurópolis; 12-Senador José Porfírio; 13-Trairão; 14-Uruará; 15-Vitória Do Xingu

Referências

ABNT. **NBR 15789: Manejo florestal sustentável - Princípios, critérios e indicadores para florestas nativas**. Rio de Janeiro, 2021. 27 p. Citado na página 29.

ADACHI, V. **O plano do Pará para liderar na economia verde**. 2023. <https://www.capitalreset.com/especial-o-plano-do-para-para-liderar-na-economia-verde/>. (Accessed on 06/24/2023). Citado na página 93.

AGUIRRE, L. A. Introdução a identificação de sistemas: técnicas lineares e não lineares: teoria e aplicação. **Editora UFMG**, v. 1, n. 3, p. 4, 2015. Citado na página 52.

ALVES, S. A. O. et al. Indicadores de sustentabilidade da agroindústria do dendê no estado do Pará. **Energia na Agricultura**, v. 28, n. 4, p. 240–246, 2013. Citado na página 67.

AMORIM, A. d. S.; ARAÚJO, M. F. F.; CÂNDIDO, G. A. Uso do barômetro da sustentabilidade para avaliação de um município localizado em região semiárida do nordeste brasileiro. **Desenvolvimento em Questão**, v. 12, n. 25, p. 189–217, jan. 2014. Disponível em: <https://www.revistas.unijui.edu.br/index.php/desenvolvimentoemquestao/article/view/664>. Citado na página 21.

ASSIS, W. F. T. Pode o subalterno mapear e incidir no planejamento regional? conflitos territoriais e disputas cartográficas no ordenamento fundiário do oeste do Pará. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, 6 2020. ISSN 2317-1529. Citado na página 66.

BARROS, C. S.; BARDEN, J. E. Barômetro da sustentabilidade aplicado à região cearense da Ibiapaba. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, v. 15, n. 7, 2019. Citado na página 70.

BARTABURU, X. Corrida ilegal do ouro causa danos irreversíveis aos rios da Amazônia. **Notícias ambientais**, maio 2020. Disponível em: <https://brasil.mongabay.com/2020/05/corrida-ilegal-do-ouro-causa-danos-irreversiveis-aos-rios-da-amazonia>. Citado na página 93.

BARTELMUS, P. **Unveiling wealth — accounting for sustainability**. [S.l.]: Kluwer Academic Publishers, 2002. 9–38 p. Citado 2 vezes nas páginas 20 e 34.

BELLEN, H. M. V. **Indicadores de sustentabilidade: uma análise comparativa**. [S.l.]: FGV editora, 2005. Citado 8 vezes nas páginas 21, 22, 23, 25, 29, 30, 44 e 65.

BENI, M. C. Como certificar o turismo sustentável? **Revista Turismo em Análise**, v. 14, p. 5, 11 2003. ISSN 1984-4867. Citado 2 vezes nas páginas 36 e 90.

BHALLA, D. **Transpose in R**. 2017. <https://www.listendata.com/2016/01/transpose-data-in-r.html>. (Accessed on 05/05/2023). Citado na página 46.

BLAHA, M.; RUMBAUGH, J. **Modelagem e projetos baseados em objetos com UML 2**. [S.l.]: Elsevier, 2006. Citado 3 vezes nas páginas 53, 55 e 57.

BOEHMKE, B. **RPubs - Data Processing with dplyr & tidyr**. 2015. https://rpubs.com/bradleyboehmke/data_wrangling. (Accessed on 05/05/2023). Citado na página 46.

BOOCH, G.; JACOBSON, J.; RUMBAUGH, J. **Uml-Guia do usuário, tradução da segunda edição**. [S.l.]: Elsevier Brasil, 2016. Citado 6 vezes nas páginas 51, 52, 53, 54, 55 e 57.

BORN, R. H. **Caderno de Debates - Agenda 21 e Biodiversidade**. [S.l.], 2006. Citado na página 40.

BRAGA, T. M. et al. Índices de sustentabilidade municipal: o desafio de mensurar. **Nova Economia**, v. 14, n. 3, 2004. Citado 2 vezes nas páginas 22 e 24.

BRASIL. **Constituição Federal**. 1988. [Online; accessed 10. Jul. 2023]. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm>. Citado na página 19.

BRASIL, A. **Desmatamento no Brasil cresceu 22% no ano passado**. 2023. [Online; accessed 17. Jul. 2023]. Disponível em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2023-06/desmatamento-no-brasil-cresceu-22-no-ano-passado>>. Citado na página 93.

BRASIL, R. **Mina de bauxita deixa legado de pobreza e poluição em quilombo do Para**. 2020. [Online; accessed 8. Nov. 2023]. Disponível em: <<https://reporterbrasil.org.br/2020/07/>>. Citado na página 110.

CAIADO, R. G. G. ao; QUELHAS, O. L. G.; LIMA, G. B. A. Avaliação de desempenho em sustentabilidade organizacional: Proposta de adaptação do método de análise de processo. **Sistemas 'I&' Gestão**, v. 10, p. 270–285, 2015. Citado 2 vezes nas páginas 36 e 65.

CAMACHO, M. S.; FARIAS, F. de S. Proposição de um algoritmo para classificação de desempenho municipal em sustentabilidade. In: **Anais do XII Workshop de Computação Aplicada a Gestão do Meio Ambiente e Recursos Naturais**. [S.l.: s.n.], 2021. p. 127–136. Citado 3 vezes nas páginas 36, 68 e 71.

CARDOSO, A. S.; TOLEDO, P. M. de; VIEIRA, I. C. G. aes. Dimensão institucional da sustentabilidade e gestão ambiental no município de moju, pará: uma aplicação do barômetro da sustentabilidade. **Sustentabilidade em Debate**, Museu Paraense Emílio Goeldi, 2014. Citado 5 vezes nas páginas 21, 22, 67, 68 e 88.

CARDOSO, A. S.; TOLEDO, P. M. de; VIEIRA, I. C. G. aes. Barômetro da sustentabilidade aplicado ao município de moju, estado do pará. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, v. 12, 2016. Citado 4 vezes nas páginas 40, 68, 88 e 122.

CASTRO, A. E. de; CAMPOS, S. A. P. de; TREVISAN, M. A institucionalização (ou banalização) da sustentabilidade organizacional à luz da teoria crítica. **Revista Pensamento Contemporâneo em Administração**, Universidade Federal Fluminense, v. 12, n. 3, p. 110–123, 2018. Citado 2 vezes nas páginas 20 e 35.

CETRULO, T. B.; MOLINA, N. S.; MALHEIROS, T. F. Indicadores de sustentabilidade: proposta de um barômetro de sustentabilidade estadual. **Brazilian Journal of Environmental Sciences (Online)**, p. 33–45, 2013. Citado 2 vezes nas páginas 21 e 40.

CHAVES, L. Atmosfera pesada no Acre. **InfoAmazonia**, nov. 2021. Disponível em: <<https://infoamazonia.org/2021/08/27/atmosfera-pesada-no-acre-2>>. Citado na página 93.

CIVIL, C. Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009. **Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima-PNMC e dá outras providências**. **DOU de**, v. 30, 2009. Citado na página 39.

- COELHO, E. M. et al. Water manager: A system based on hardware and software for user consumption monitoring. **IEEE Latin America Transactions**, IEEE, v. 17, n. 11, p. 1879–1886, 2019. Citado na página 70.
- COFA. **Critérios orientadores**. 2023. <<https://www.fundoamazonia.gov.br/pt/como-apresentar-projetos/criterios-orientadores/>>. (Accessed on 09/13/2023). Citado na página 90.
- COMMISSION, E. et al. **System of environmental-economic accounting 2012 : central framework**. [S.l.]: United Nations Organisation, 2016. Citado na página 34.
- COMMITTEE, A. W. G. of the S. E. et al. Recommended practice for architectural description of software intensive systems. **IEEE Standards Department, Piscataway, New Jersey, USA**, 2000. Citado na página 48.
- CONGILIO, C. R.; IKEDA, J. C. O. A ditadura militar, expansão do capital e as lutas sociais no sudeste paraense. **Lutas Sociais**, v. 18, n. 32, p. 79–90, 2014. Citado na página 124.
- CONTI, J. M. M. et al. Utilização acadêmica das ferramentas de mensuração do desenvolvimento sustentável no Brasil. **X Seminário Internacional sobre Desenvolvimento Regional**, 2019. Citado 3 vezes nas páginas 22, 23 e 25.
- CORDEIRO, I. M. C. C.; ARBAGE, M. J. C.; SCHWARTZ, G. Nordeste do Pará: configuração atual e aspectos identitários. In: **Nordeste Paraense: panorama geral e uso sustentável das florestas secundárias**. [S.l.]: EDUFRA, 2017. Citado 3 vezes nas páginas 85, 111 e 115.
- COSTANZA, R. The dynamics of the ecological footprint concept. **Ecological economics**, v. 32, n. 3, p. 341–345, 2000. Citado na página 69.
- CRISPIM, D. L. et al. Comparação de métodos de agrupamentos hierárquicos aglomerativos em indicadores de sustentabilidade em municípios do estado do Pará. **Research, Society and Development**, v. 9, p. e60922067–e60922067, 2020. Citado 2 vezes nas páginas 68 e 69.
- DADOS, E. de. **Coda Amazônia - Painel: Comunicando as mudanças climáticas com dados - Escola de Dados**. 2022. [Online; accessed 18 Jul. 2023]. Disponível em: <<https://escoladedados.org/coda/coda-amazonia/coda-amazonia-painel-comunicando-as-mudancas-climaticas-com-dados>>. Citado na página 93.
- DAHIS, R. et al. **Data Basis: Universalizing Access to High-Quality Data**. SocArXiv, 2022. Disponível em: <osf.io/preprints/socarxiv/r76yg>. Citado na página 74.
- DAUDA, M. **Merge and Append Queries in Power BI | by Mubar Dauda | Microsoft Power BI | Medium**. 2023. <<https://medium.com/microsoft-power-bi/merge-and-append-queries-in-power-bi-367cb1505697>>. (Accessed on 05/05/2023). Citado na página 46.
- DERMEVAL, D.; COELHO, J. A. P. de M.; BITTENCOURT, I. I. Mapeamento sistemático e revisão sistemática da literatura em informática na educação. **Metodologia de Pesquisa Científica em Informática na Educação: Abordagem Quantitativa**. Porto Alegre: SBC, 2020. Citado 2 vezes nas páginas 63 e 64.

DIOGENES, V. H. D. et al. **DIFERENCIAIS NA COBERTURA DAS BASES DE DADOS DE ÓBITOS NO BRASIL EM 2010**. OSF Preprints, 2021. Disponível em: <osf.io/ve6t7>. Citado na página 22.

DORSA, A. C. **O papel das políticas públicas no Brasil: reflexões necessárias**. [S.l.]: SciELO Brasil, 2021. 1–4 p. Citado na página 32.

EGLIN, S. J. A quick guide to teaching r programming to computational biology students. **PLoS Computational Biology**, Public Library of Science (PLoS), v. 5, n. 8, p. e1000482, ago. 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1000482>>. Citado na página 59.

ELEMAR JUNIOR. **Projetando software com “Pipes & Filters” / Capítulo 6 v3.0 – Manual do Arquiteto de Software**. out. 2023. [Online; accessed 19. Oct. 2023]. Disponível em: <<https://arquiteturadesoftware.online/projetando-software-com-pipes-filters>>. Citado 2 vezes nas páginas 50 e 51.

ELKINGTON, J. Accounting for the triple bottom line. **Measuring Business Excellence**, MCB UP Ltd, 1998. Citado 2 vezes nas páginas 22 e 88.

ELKINGTON, J. **Sustentabilidade: canibais com garfo e faca**. [S.l.]: M. Books, 2020. Citado 2 vezes nas páginas 35 e 36.

EMBRAPA. **Sobre o tema - Portal Embrapa**. 2023. <<https://www.embrapa.br/tema-bioeconomia/sobre-o-tema>>. (Accessed on 09/13/2023). Citado na página 90.

ENGENHARIA b&b. **Relatório final do Plano Municipal de Saneamento Básico - Vol 1**. 2015. <<https://camaranovaipixuna.pa.gov.br/wp-content/uploads/2020/02/Vol-1.pdf>>. (Accessed on 11/11/2023). Citado na página 118.

ENRICONI, L. **Advocacy: O que é?: Politize!** 2017. Disponível em: <<https://www.politize.com.br/advocacy-o-que-e/>>. Citado na página 33.

FAPESPA. **ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO PARÁ**. 2023. <<https://fapespa.pa.gov.br/anuario-estatistico-do-para>>. (Accessed on 07/11/2023). Citado 2 vezes nas páginas 109 e 119.

FERREIRA, A. E. D. M.; VIEIRA, I. C. G. aes. Sustentabilidade urbana na região metropolitana de santarém, pará, brasil nos anos 2000 e 2010. **Economia, sociedad y territorio**, El Colegio Mexiquense AC, v. 18, p. 763–795, 2018. Citado 2 vezes nas páginas 67 e 68.

FERREIRA, L. d. C. Indicadores político-institucionais de sustentabilidade: criando e acomodando demandas públicas. **Ambiente & Sociedade**, ANPPAS - Revista Ambiente e Sociedade, n. 6-7, p. 15–30, Jan 2000. ISSN 1414-753X. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1414-753X2000000100002>>. Citado na página 94.

FILHO, E. D. et al. **Uma abordagem para gerenciamento de riscos em projetos de software baseada em redes bayesianas**. Tese (Doutorado) — Universidade Federal de Campina Grande, 2021. Citado na página 24.

FISCH, G.; MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A. Uma revisão geral sobre o clima da amazônia. **Acta amazônica**, SciELO Brasil, v. 28, p. 101, 1998. Citado na página 66.

FRANÇA, W. et al. Aplicativo baseado na web para cálculo e análise de sustentabilidade ambiental em emergia. In: **Integrating Cleaner Production Into Sustainability Strategies**. [S.l.: s.n.], 2013. Citado na página 70.

FRONDIZI, I. M. d. R. L. et al. **O Mecanismo de desenvolvimento limpo: guia de orientação-2009**. [S.l.]: Imperial Novo Milênio, 2009. Citado na página 37.

G1 SANTARÉM. Nova espécie vegetal é descoberta no conjunto de glebas mamuru-arapiuns. **G1 Notícias**, 11 2021. Disponível em: <<https://g1.globo.com/pa/santarem-regiao/noticia/2021/11/17/>>. Citado na página 66.

GAMA, J. et al. Solos do estado do Pará. **Recomendações de adubação e calagem para o estado do Pará. Belém, Embrapa Amazônia Oriental**, p. 19–29, 2007. Citado na página 87.

GAMA, J. R. **Economia do conhecimento e capitalismo de vigilância**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Pará, 2021. Citado na página 20.

GONÇALVES, D. A. M. et al. **Metais e elementos terras raras em solos da Amazônia oriental**. Tese (Doutorado) — UFRA, 2018. Citado na página 87.

GRAÇA, C. S. **Combate aos Crimes Ambientais**. [S.l.]: ABRAMPA, 2022. Citado na página 34.

GRAEDEL, T. E. Material flow analysis from origin to evolution. **Environmental science & technology**, ACS Publications, v. 53, n. 21, p. 12188–12196, 2019. Citado na página 34.

GTISP. **2º Plano Diretor para o Desenvolvimento da informação e tecnologia da informação em Saúde**. [S.l.]: ABRASCO, 2013. Citado na página 22.

GUILHERME. **tratamento de dados - Phylos.net**. 2021. <<https://phylos.net/tag/tratamento-de-dados>>. (Accessed on 05/05/2023). Citado na página 46.

GUIMARÃES, J. R. S.; JANNUZZI, P. de M. Idh, indicadores sintéticos e suas aplicações em políticas públicas. uma análise crítica. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais (RBEUR)**, Associação Nacional de Pós Graduação e Pesquisa em Planejamento Urbano e . . . , v. 7, p. 73–90, 2005. Citado 2 vezes nas páginas 30 e 31.

HIRAMA, K. **Engenharia de software: qualidade e produtividade com tecnologia**. [S.l.]: Elsevier Brasil, 2012. Citado 3 vezes nas páginas 48, 49 e 51.

HOMMA, A. K. O. Amazônia: desenvolvimento agrícola com a criação de mercados. **Radar: Tecnologia, produção e comércio exterior**, n. 20, p. 19-27, jun. 2012., 2012. Citado 2 vezes nas páginas 66 e 68.

HUDAK, P. Conception, evolution, and application of functional programming languages. **ACM Comput. Surv.**, Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, v. 21, n. 3, p. 359–411, sep 1989. ISSN 0360-0300. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/72551.72554>>. Citado 2 vezes nas páginas 58 e 59.

HURD, B. et al. Relative regional vulnerability of water resources to climate change 1. **JAWRA Journal of the American Water Resources Association**, Wiley Online Library, v. 35, n. 6, p. 1399–1409, 1999. Citado na página 70.

IAS. **O saneamento em ITUPIRANGA/PA**. 2020. [Online; accessed 10. Nov. 2023]. Disponível em: <<https://www.aguaesaneamento.org.br/municipios-e-saneamento/pa/itupiranga>>. Citado na página 116.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2021. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pa>>. Citado 2 vezes nas páginas 83 e 84.

IBGE. **Síntese de indicadores sociais : uma análise das condições de vida da população brasileira : 2022**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Citado na página 87.

IBGE. **IBGE Cidades**. 2023. [Online; accessed 7. Nov. 2023]. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/placas/panorama>>. Citado 2 vezes nas páginas 108 e 119.

IBGE NOTÍCIAS. **Um em cada três domicílios não tinha ligação com rede de esgoto em 2019 | Agência de Notícias**. 2020. <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/27597-um-em-cada-tres-domicilios-nao-tinha-ligacao-com-rede-de-esgoto-em-2019>>. (Accessed on 11/19/2023). Citado na página 121.

IBM. **Rational Software Architect Designer**. 2023. <https://www.ibm.com/products/rational-software-architect-designer?mhsrc=ibmsearch_a&mhq=>. (Accessed on 11/03/2023). Citado na página 53.

ICMBIO. **Resex Tapajós-Arapiuns — Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade**. 2014. <<https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/unidade-de-conservacao/unidades-de-biomas/amazonia/lista-de-ucs/resex-tapajos>>. (Accessed on 11/07/2023). Citado na página 109.

IMAZON. **Calha Norte Sustentável: Situação Atual e Perspectivas**. 2015. <<https://amazon.org.br/calha-norte-sustentavel-situacao-atual-e-perspectivas-parte-1/>>. (Accessed on 11/08/2023). Citado na página 109.

IMPERATIVES, S. Report of the world commission on environment and development: Our common future. **Accessed Feb**, v. 10, p. 1–300, 1987. Citado 2 vezes nas páginas 19 e 36.

IPAM. **Evento “O que é a COP?” dá início à preparação da COP30, que será em Belém**. 2023. <<https://ipam.org.br/evento-o-que-e-a-cop-da-inicio-a-preparacao-da-cop30-que-sera-em-belem/>>. (Accessed on 09/13/2023). Citado na página 90.

ISA. **Mineração em Oriximiná: o embate histórico de 30 anos entre quilombolas e a riqueza da bauxita**. 2023. [Online; accessed 8. Nov. 2023]. Disponível em: <<https://vacervo.socioambiental.org/vacervo/noticias>>. Citado na página 110.

ITUPIRANGA, P. M. de. **LEI 194/2019**. 2019. [Online; accessed 10. Nov. 2023]. Disponível em: <<https://itupiranga.pa.gov.br>>. Citado na página 116.

JANNUZZI, P. D. E. M. Indicadores no ciclo de políticas e programas no Brasil. **Indicadores sociais: passado, presente e futuro**, IBGE, 2017. Citado na página 31.

JR, J. T. P.; CARBOGIN, J. B. P. **Conservação da natureza: e eu com isso?** [S.l.]: Rede Marinho-Costeira e Hídrica do Brasil, 2012. ISBN 978-85-98564-09-8. Citado 2 vezes nas páginas 19 e 93.

JUNIOR, J. G. de M.; FARIAS, F. de S.; KATO, O. R. Assessment of the sustainability of agroecosystems in the amazon region using neural artificial networks. **IEEE Latin America Transactions**, IEEE, v. 14, p. 3804–3810, 2016. Citado 2 vezes nas páginas 67 e 68.

KRONEMBERGER, D. M. P. **A viabilidade do desenvolvimento sustentável na escala local: o caso da Bacia do Jurumirim (Angra dos Reis, RJ), 2003**. 274 p. Tese (Doutorado) — Tese (Doutorado em Geociências)—Instituto de Química, Universidade Federal, 2003. Citado 2 vezes nas páginas 22 e 40.

KRONEMBERGER, D. M. P.; CARVALHO, C. N. de; JUNIOR, J. C. Indicadores de sustentabilidade em pequenas bacias hidrográficas: uma aplicação do barômetro da sustentabilidade à bacia do jurumirim (angra dos reis/rj). **Geochimica Brasiliensis**, v. 18, 2004. Citado 3 vezes nas páginas 22, 41 e 44.

KRONEMBERGER, D. M. P. et al. Desenvolvimento sustentável no brasil: uma análise a partir da aplicação do barômetro da sustentabilidade. **Sociedade 'I&' Natureza**, SciELO Brasil, v. 20, p. 25–50, 2008. Citado 3 vezes nas páginas 21, 40 e 44.

KULSHRESHTHA, S. N. A global outlook for water resources to the year 2025. **Water resources management**, Springer, v. 12, p. 167–184, 1998. Citado na página 70.

LARMAN, C. **Utilizando UML e padrões**. [S.l.]: Bookman Editora, 2007. Citado 2 vezes nas páginas 51 e 53.

LASSANCE, A. **Análise ex ante de políticas públicas: fundamentos teórico-conceituais e orientações metodológicas para a sua aplicação prática**. [S.l.]: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), 2022. Citado na página 32.

LEAL, A. L. et al. Produção mineral no estado do pará e reflexos na (re) produção da miséria: Barcarena, marabá e parauapebas. **Revista de Políticas Públicas**, Universidade Federal do Maranhão, v. 16, n. 1, p. 157–167, 2012. Citado na página 86.

LEHMEN, A. Mudança do clima e direito. **Cadernos do Programa de Pós-Graduação em Direito**, n. 6, 2006. Citado 2 vezes nas páginas 37 e 38.

LEITE, C. K. **Terceira geração de indicadores sociais. Notas de aulas (Disciplina de Indicadores de Políticas Públicas)**. 2020. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5838654/mod_resource/content/1/Aula15_Terceira%20geracao%2025nov_2>. Citado na página 30.

LIBERAL, O. **TJPA - Comunicação - Mais de 20 mil famílias são afetadas por conflitos de terras no Pará**. 2017. <<https://www.tjpa.jus.br/PortalExterno/imprensa/noticias/Informes/673775-Mais-de-20-mil-familias-sao-afetadas-por-conflitos-de-terras-no-Para.xhtml>>. (Accessed on 11/12/2023). Citado na página 119.

LIMA, C. E. P. **As mudanças ambientais e a saúde humana: impactos da degradação ambiental sobre surtos de doenças infecciosas**. 2023. [Online; accessed 18. Jul. 2023]. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/52769086>>. Citado na página 94.

MALAN, R.; BREDEMEYER, D. et al. Functional requirements and use cases. **Bredemeyer Consulting**, Citeseer, 2001. Citado 3 vezes nas páginas 53, 54 e 55.

MARCONI, M. de A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica**. Editora Atlas S.A., 2010. ISBN 9788522457588. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=Y2WFRAACA AJ>>. Citado na página 36.

- MARQUES, F. S. B. **Classificação dinâmica para o evento de prisão de coluna na perfuração de poços offshore**. [S.l.]: Niterói, 2019. Citado na página 24.
- MARQUES, G. d. S. **Terra, território e América Latina: o desafio de cultivar a esperança**. [S.l.]: SciELO Brasil, 2021. 439–442 p. Citado na página 123.
- MARTINS, M. d. F.; CÂNDIDO, G. A. Sistemas de indicadores de sustentabilidade urbana: Os desafios do processo de mensuração, análise e monitoramento. **Sustainability in Debate/Sustentabilidade em Debate**, v. 6, n. 2, 2015. Citado na página 24.
- MARTINS, N. D. da C. **Programação em R no estudo de probabilidades**. Tese (Master's thesis) — Universidade do Minho, 2016. Citado na página 59.
- MEDEIROS, J. D. R. V. de et al. **Engenharia de requisitos em projetos ágeis: uma revisão sistemática da literatura**. 2015. Citado na página 48.
- MENDES, A. **Arquitetura de software**. [S.l.]: Campus, 2002. Citado na página 49.
- MIRANDA, G. M. D.; MENDES, A. d. C. G.; SILVA, A. L. A. d. O envelhecimento populacional brasileiro: desafios e consequências sociais atuais e futuras. **Revista brasileira de geriatria e gerontologia**, SciELO Brasil, v. 19, p. 507–519, 2016. Citado na página 118.
- MOORE, C. et al. Bpm cbok version 3: Guide to the business process management common body of knowledge. **BPM CBOK Version**, v. 3, n. 0, 2013. Citado na página 28.
- MPPA. **Sistema de Informações de Indicadores Sociais**. 2023. [Online; accessed 9. Nov. 2023]. Disponível em: <<https://www2.mppa.mp.br/sistemas/gcsubsites/index.php?action=MenuOrgao.show&id=2098&oOrgao=53>>. Citado 2 vezes nas páginas 112 e 119.
- NACIONAL, J. **Total de pessoas que se autodeclararam pretas e pardas cresce no Brasil, diz IBGE — g1.globo.com**. 2022. <<https://g1.globo.com/jornal-nacional/noticia/2022/07/22/>>. [Accessed 20-May-2023]. Citado na página 85.
- NERIS, J. P. F. et al. Uso de geotecnologias na análise espacial dos focos de calor no município de são felix do xingu, pará. **Geografia: Publicações Avulsas**, v. 2, n. 1, p. 395–419, 2020. Citado na página 117.
- ODUM, H. **Energy in ecosystems, 337-369 in N. Polunin (Ed.) Ecosystems theory and application**. [S.l.]: John Wiley & Sons, New York, 1986. Citado na página 70.
- OLIVEIRA, E. L. de; OLIVEIRA, E. A. de A. Q.; CARNIELLO, M. F. O barômetro da sustentabilidade aplicado ao município de taubaté-sp. **Desenvolvimento em Questão**, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, v. 13, p. 230–264, 2015. Citado 2 vezes nas páginas 25 e 41.
- OLIVEIRA, G. C. de S.; CURI, R. C. Análise de metodologias de avaliação da sustentabilidade hidroambiental segundo bellagiostamp. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 9, n. 3, p. 275–288, 2018. Citado na página 29.
- ONU. Nova agenda urbana. **Organização das Nações Unidas**, 2017. Disponível em: <<https://habitat3.org/wp-content/uploads/NUA-Portuguese-Brazil.pdf>>. Citado 2 vezes nas páginas 19 e 40.

- ONU. Objetivos do desenvolvimento sustentável. **Organização das Nações Unidas**, 2020. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>>. Citado na página 40.
- OVIEDO, A.; LIMA, W. P.; AUGUSTO, C. O arco do desmatamento e suas flechas. **Instituto Socioambiental**, 2021. Citado 2 vezes nas páginas 68 e 122.
- PANDAS. **How do I select a subset of a DataFrame? — pandas 2.1.2 documentation**. 2023. <https://pandas.pydata.org/docs/getting_started/intro_tutorials/03_subset_data.html>. (Accessed on 05/05/2023). Citado na página 46.
- PARAUAPEBAS, P. de. **Envelhecimento humano na região de Carajás é tema de Roda de Conversa – Prefeitura de Parauapebas**. 2022. <<https://parauapebas.pa.gov.br/destaque/envelhecimento-humano-na-regiao-de-carajas-e-tema-de-roda-de-conversa/>>. (Accessed on 11/12/2023). Citado na página 118.
- PEREIRA, F. d. S. et al. **Sustentabilidade da Região Metropolitana de Belém-Pará sob a ótica de diferentes índices**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Pará, 2017. Citado 4 vezes nas páginas 19, 23, 24 e 94.
- PEREIRA, L. A. d. M. **Análise e Modelagem de Sistemas com a UML: com dicas e exercícios resolvidos**. [S.l.]: Edição do Autor, 2011. ISBN 978-85-911695-0-4. Citado na página 47.
- PLUMMER, R.; LOË, R. de; ARMITAGE, D. A systematic review of water vulnerability assessment tools. **Water resources management**, Springer, v. 26, p. 4327–4346, 2012. Citado na página 70.
- PNUD. **Atlas Brasil**. 2023. <<http://www.atlasbrasil.org.br/consulta>>. (Accessed on 08/11/2023). Citado na página 110.
- PPGDAM. **Município e território: dividir por quê?** 2015. <<https://ppgedam.propesp.ufpa.br/index.php/impacto/noticias-insercao-social/188-municipio-e-territorio-dividir-por-que>>. (Accessed on 30/03/2023). Citado na página 84.
- PRESCOTT-ALLEN, R. **The wellbeing of nations: a country-by-country index of quality of life and the environment**. [S.l.]: Island press, 2001. Citado 2 vezes nas páginas 43 e 94.
- PRESSMAN, R. S.; MAXIM, B. R. **Engenharia de software-9**. [S.l.]: McGraw Hill Brasil, 2021. Citado 3 vezes nas páginas 46, 47 e 48.
- QUINTELA, P. D. A.; TOLEDO, P. M. de; VIEIRA, I. C. G. Desenvolvimento sustentável do marajó, Pará: uma visão a partir do barômetro da sustentabilidade. **Novos Cadernos NAEA**, v. 21, n. 1, 2018. Citado na página 93.
- R Core Team. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. Vienna, Austria, 2019. Disponível em: <<https://www.R-project.org>>. Citado 2 vezes nas páginas 59 e 61.
- RATINAUD, P. Iramuteq: Interface de r pour les analyses multidimensionnelles de textes et de questionnaires. **Téléchargeable à l'adresse: <http://www.iramuteq.org>**, 2009. Citado na página 70.
- REIGOTA, M. A. do S. Ciência e sustentabilidade: a contribuição da educação ambiental. **Avaliação: Revista da Avaliação da Educação Superior (Campinas)**, SciELO Brasil, v. 12, p. 219–232, 2007. Citado 2 vezes nas páginas 36 e 66.

- RESQUE, A. G. L.; SILVA, L. M. S. Sustentabilidade de agroecossistemas familiares em comunidade de várzea localizada no município de cameté, estado do pará. **Agricultura Familiar: Pesquisa, Formação e Desenvolvimento**, v. 11, n. 1, p. 103–118, 2017. Citado 2 vezes nas páginas 68 e 69.
- RIGHES, B. et al. Aplicativo web para avaliação de indicadores globais de sustentabilidade em sistemas de produção de gado de corte tradicionais e integrados com lavoura e floresta: e-missions. In: **Resumos**. [S.l.]: In: JORNADA CIENTÍFICA EMBRAPA GADO DE CORTE, 8., 2012, Campo Grande, MS, 2012. Citado na página 69.
- ROCHA, R. da S.; BRAGANÇA, A. C. H. Grilagem e delitos associados: a experiência da força-tarefa amazônia do ministério público federal. In: **Combate aos Crimes Ambientais**. [S.l.]: ABRAMPA, 2022. p. 28. Citado na página 19.
- RODRIGUES, T. et al. Zoneamento agroecológico do município de bujaru, pa. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2001., 2001. Citado na página 99.
- ROHAN, U.; BRANCO, R. R.; SOARES, C. A. P. Potencialidades e limitações dos instrumentos de mensuração da sustentabilidade. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, SciELO Brasil, v. 23, p. 857–869, 2018. Citado na página 23.
- SAAVEDRA, A. **Plano de Bioeconomia do Pará é apresentado no seminário Desenvolvimento Sustentável na Amazônia**. 2023. <<https://agenciapara.com.br/noticia/43770>>. (Accessed on 06/24/2023). Citado na página 93.
- SACHS, I. **Caminhos para o desenvolvimento sustentável**. [S.l.]: Editora Garamond, 2000. Citado 6 vezes nas páginas 22, 33, 35, 38, 88 e 92.
- SACHS, I. et al. Estratégias de transição para o século xxi. **Para pensar o desenvolvimento sustentável**. São Paulo: Brasiliense, p. 29–56, 1993. Citado na página 38.
- SALDANHA, R. d. F.; BASTOS, R. R.; BARCELLOS, C. Microdatasus: pacote para download e pré-processamento de microdados do departamento de informática do sus (datasus). **Cadernos de Saúde Pública**, SciELO Public Health, v. 35, p. e00032419, 2019. Citado na página 74.
- SANTANA, A. C. de et al. A sustentabilidade do desempenho competitivo das madeireiras da região mamuru-arapiuns, estado do pará. **Revista Teoria e Evidência Econômica**, v. 15, 2009. Citado 2 vezes nas páginas 66 e 67.
- SANTOS, V. M. d. A economia do sudeste paraense: evidências das transformações estruturais. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), 2017. Citado 2 vezes nas páginas 119 e 120.
- SARTORI, A. G. de O.; SILOTO, R. da S. Análise da compatibilidade de indicadores de desenvolvimento humano e sustentável do sistema das nações unidas com o bellagiostamp. **Brazilian Journal of Environmental Sciences (Online)**, n. 30, p. 99–110, 2013. Citado 2 vezes nas páginas 29 e 30.
- SCAFF, F. F.; TUPIASSU, L. d. C. Tributação e políticas públicas: o icms ecológico. **Revista de Direito Ambiental da Amazônia**. Manaus: Universidade do Estado do Amazonas, ano, v. 2, p. 15–36, 2004. Citado na página 34.
- SHAW, M.; GARLAN, D. **Software architecture: perspectives on an emerging discipline**. [S.l.]: Prentice-Hall, Inc., 1996. Citado na página 48.

- SILVA, C. R. Q. **Critérios para priorização de estudos primários identificados por snowballing com conjunto inicial gerado por string de busca**. Tese (Master's thesis) — Universidade Federal de São Carlos, 2017. Citado na página 63.
- SILVA, G. C. d. et al. Ecoturismo os atrativos naturais em bujaru/pará. **Revista Margens Interdisciplinar**, Universidade Federal do Pará, 2013. Citado na página 99.
- SILVA, L. A. da; PERES, S. M.; BOSCARIOLI, C. **Introdução à mineração de dados: com aplicações em R**. [S.l.]: Elsevier Brasil, 2017. Citado na página 60.
- SILVA, S. T. D. **Políticas públicas e estratégias de sustentabilidade urbana**. 2003. Citado na página 33.
- SILVA, T. R. et al. Uma análise de elementos de modelagem bpmn e uml para modelagem de processos de negócio baseada em padrões de workflow. **ResearchGate**, 2007. (Accessed on 05/11/2023). Citado na página 56.
- SILVA, V. C. S.; VIEIRA, I. C. G. aes. Barômetro da sustentabilidade aplicado a assentamentos rurais do leste do estado do pará, brasil. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 36, 2016. Citado 3 vezes nas páginas 40, 68 e 69.
- SILVEIRA, P. et al. **Introdução à Arquitetura de Design de Software: Uma Introdução à Plataforma Java**. [S.l.]: Elsevier Brasil, 2011. Citado na página 48.
- SOMMERVILLE, I. Engenharia de software, 9a. **São Palo, SP, Brasil**, p. 63, 2011. Citado na página 48.
- SOTTO, D. et al. Aligning urban policy with climate action in the global south: Are brazilian cities considering climate emergency in local planning practice? **Energies**, MDPI, v. 12, n. 18, p. 3418, 2019. Citado na página 65.
- SOUZA, C. Políticas públicas: uma revisão da literatura. **Sociologias**, SciELO Brasil, p. 20–45, 2006. Citado 2 vezes nas páginas 32 e 33.
- SOUZA, C. C. F. de et al. Diagnóstico da sustentabilidade na gestão de resíduos sólidos no município de marituba, região metropolitana de belém, estado do pará. **Revista Metropolitana de Sustentabilidade (ISSN 2318-3233)**, v. 9, n. 2, p. 115–136, 2019. Citado na página 68.
- TECNOLOGIA, S. **Auditoria do valor adicionado fiscal**. 2023. <<https://sigmavaf.com.br/valor-adicionado-fiscal>>. (Accessed on 11/16/2023). Citado na página 34.
- UNIFIED Modeling Language Specification Version 2.5.1. 2017. (Accessed on 3/11/2023). Disponível em: <<https://www.omg.org/spec/uml>>. Citado 3 vezes nas páginas 52, 53 e 54.
- VALE, F. A. F. D. et al. Sustentabilidade municipal no contexto de uma política pública de controle do desmatamento no pará. **Economia, sociedad y territorio**, El Colegio Mexiquense AC, v. 20, p. 685–717, 2020. Citado 4 vezes nas páginas 25, 68, 69 e 122.
- VEIGA, M. M. d.; SILVA, A. R. B. d.; HINTON, J. J. O garimpo de ouro na amazônia: aspectos tecnológicos, ambientais e sociais. In: . [S.l.]: CETEM/MCT, 2002. Citado na página 119.
- VENKATACHALAM, S. **Groupby count in pandas dataframe python - DataScience Made Simple**. 2023. <<https://www.datasciencemadesimple.com/group-by-count-in-pandas-dataframe-python-2/>>. (Accessed on 05/05/2023). Citado na página 46.

VIEIRA, I. C. G. Abordagens e desafios no uso de indicadores de sustentabilidade no contexto amazônico. **Ciência e Cultura**, Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência, v. 71, n. 1, p. 46–50, 2019. Citado na página [24](#).

WANG, R. Y.; STOREY, V. C.; FIRTH, C. P. A framework for analysis of data quality research. **IEEE transactions on knowledge and data engineering**, IEEE, v. 7, n. 4, p. 623–640, 1995. Citado na página [28](#).

WAZLAWICK, R. S. **Metodologia de pesquisa para ciência da computação**. [S.l.]: Elsevier, 2009. v. 2. Citado 2 vezes nas páginas [65](#) e [66](#).